

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra Chemie



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Americké a Anglické odrůdy chmele

Bakalářská práce

Mikuláš Kneidl

Kvalita potravin a zpracování zemědělských produktů

Ing. Petr Šmíd

© 2023/24 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Americké a Anglické odrůdy chmele" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 28.4.2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Petru Šmídovi za vedení této bakalářské práce, za věnovaný čas, cenné rady a vytrvalou pomoc při psaní. Dále bych rád poděkoval Ing. Jindřichu Křivánkovi Ph.D. za neocenitelný zdroj informací.

Americké a Anglické odrůdy chmele

Souhrn

Tato bakalářská práce se zabývá šlechtěním odrůd chmele z Ameriky a Anglie. Byl zjišťován původ jednotlivých odrůd, jejich genealogický strom a zda jsou používány i dnes. Pěstování chmele je součástí lidského života stovky možná tisíce let. Jednalo se o tři různé byliny spadající do čeledi *Cannabaceae*. K rozmanitosti odrůd a jejich úspěšnému růstu přispívaly především specifické klimatické podmínky, délka denního světla, typy půd a jejich složení. Tradičně byl výběr, kterou odrůdu pěstovat a posléze šlechtit, ovlivněn jejím výnosem, obsahem hořkých kyselin a aromatem. Z těchto aspektů jsou v současnosti odrůdy chmele rozdělovány, resp. označovány podle lokality, ve které jsou pěstovány – Anglické, Americké, Australské atd., podle šlechtitele, který je popsal nebo podle jejich nezměnitelného morfologického znaku.

Tato bakalářská práce je zaměřena na souhrnné a přehledné informace o pozitivních i negativních výsledcích pěstitelské a šlechtitelské práce v průběhu staletí na jednotlivých kontinentech, ale i na co nejširší využití současných poznatků v různých oborech lidské činnosti.

Klíčová slova: Chmel; chmelové silice; α -hořké kyseliny; β -hořké kyseliny; země původu

American and British hop varieties

Summary

This bachelor thesis deals with the breeding of hop varieties from America and England. The origins of the varieties, their genealogical tree and whether they are still used today were investigated. Hop cultivation has been part of human life for hundreds or thousands of years. These were three different herbs belonging to the family Cannabaceae. Specific climatic conditions, length of daylight, soil types and soil composition were the main contributors to the variety of varieties and their successful growth. Traditionally, the choice of which variety to grow and subsequently breed was influenced by its yield, bitter acid content and aroma. On these grounds, hop varieties are nowadays classified or labelled according to the locality in which they are grown - English, American, Australian etc., according to the breeder who described them or according to their unmistakable morphological characteristics.

This bachelor's thesis aims to provide comprehensive and clear information on the positive and negative results of cultivation and breeding over the centuries on the various continents, but also to make the widest possible use of current knowledge in various fields of human activity.

Keywords: Hops; hop essential oils; α -bitter acids; β -bitter acids; country of origin

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíl práce	10
3	Literární rešerše	11
3.1	Historický vývoj pěstování chmele	11
3.1.1	Pěstitelské programy 20. století	11
3.1.2	Šlechtění pro vysoký obsah pryskyřic	12
3.1.3	Šlechtění aromatických odrůd	13
3.1.4	Šlechtění pro vyšší výnos	16
3.1.5	Šlechtění rezistence vůči škůdcům a chorobám	18
3.1.6	Lokálně důležité šlechtění	20
3.2	Rozsah pěstování a vybrané pěstební oblasti	21
3.3	Morfologie chmelové rostliny	21
3.4	Anglické odrůdy	22
3.4.1	Úvod do Anglických odrůd	22
3.4.2	Historie pěstování	22
3.4.3	Pěstební podmínky a sklizně	23
3.4.4	Šlechtitelské programy v Anglii	24
3.5	Americké odrůdy	27
3.5.1	Úvod do Amerických odrůd	27
3.5.2	Historie pěstování	28
3.5.3	Pěstební podmínky a sklizeň	28
3.5.4	Použití chmele	29
3.5.5	Šlechtitelské programy v USA	30
3.5.5.1	Oregonská státní Univerzita (OSU)	30
3.5.5.2	Washingtonská státní Univerzita (WSU)	30
3.5.5.3	Další státy	31
3.5.5.4	Informace poskytované vládou Spojených Států	31
4	Technologické využití	32
4.1	Farmacie	32
4.1.1	Homeopatie	32
4.1.2	Rozsah užití	32
4.1.3	Protinádorové vlastnosti	33
4.1.4	Hormonální substituční léčba	33
4.1.5	Antimikrobiální vlastnosti	34
5	Pivovarnictví	36

5.1	Posklizňové úpravy chmele.....	36
5.2	Upravené chmelové výrobky.....	37
5.2.1	Výrobky připravené mechanickými úpravami hlávkového chmele	37
5.2.2	Výrobky připravené fyzikálními úpravami hlávkového chmele	39
5.2.3	Výrobky připravené chemickými úpravami chmele.....	40
5.2.4	Redukované (hydrogenované) iso- α -hořké kyseliny	41
5.2.5	Syntetické hořké látky	41
5.3	Skladba chmelových extraktivních látek v pivu.....	42
6	Závěr	43
7	Literatura.....	45

1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá historickým vývojem chmele v jednotlivých etapách rozvoje lidské společnosti, které významně ovlivnily jeho další pěstování a šlechtění. Déle se zabývá tradičními přístupy, využití v jiných oborech (které přímo nesouvisí s pivovarnictvím) a historií použití chmele. Práce nepředkládá přesný návod, jak se má vždy v praxi postupovat, ale přináší informace o tom, jaké jsou možné cesty řešení v rámci individuální praxe, upozorňuje na nutnost flexibilní spolupráce a komunikace všech zúčastněných pracovníků v jednotlivých oborech lidské činnosti, a to i v případě, že výsledek spolupráce nemusí být vždy spojen jen s příznivým výsledkem. Současný pěstitelský výzkum založený na mezinárodní spolupráci je alternativou dřívějších přístupů, protože zahrnuje dostatečný rozsah do studie případů i kontrol a zmírňuje tak význam důvodů ke kritickým postojům (Darby 2005; Basařová et al. 2010; Korpelainen & Pietiläinen 2021).

Chmel byl v minulosti využíván k vaření piva a v lidovém léčení. Dříve než začal být účelově pěstován, byly používány jeho divoké varianty. První zmínky o systematickém pěstování pochází již z 9. století z Evropy. V Anglii bylo s touto praxí započato až v 16. století a v Americe až v první polovině 17. století. Primárními problémy, se kterými se museli pěstitelé v minulosti vypořádat, stejně jako dnes, byl nízký výnos, napadení chorobami a zamoření škůdci. Pro tento účel byly založeny po celém světě šlechtitelské programy, mezi nejvýznamnější patří šlechtitelský program na Wye College v Anglii, na Oregonské a Washingtonské univerzitě v USA a Německý program v Hüll. Z těchto programů pochází velké množství odrůd rezistentních k chorobám chmele, jako jsou peronospora chmelová, verticiliové vadnutí a chmelové vadnutí. Byly také snahy o vyšlechtění odrůd rezistentních k napadení škůdci jako jsou, chmelové mšice a svilušky. Velká pozornost těchto programů byla také věnována zvyšování výnosů, zvyšování obsahu hořkých látek a vytřibování aroma chmele (Darby 2005; Teghtmeyer 2018).

Tradičně byl chmel používán také v lidovém léčení, hlavně jako tišící prostředek, pomáhající se spánkem. Také byl používán pro svou schopnost mírnit zánět a snižovat horečku. Dnes je chmel studován jako možná náhrada některých léčiv, či jako doplnění standardní léčby. Obor fytotherapie se nyní velmi rychle rozvíjí. Studie v oblasti fytotherapie se zaměřují na chmelové extrakty a jejich efekt na metabolický syndrom, několik typů nádorového bujení, schopnost snižovat inzulínovou rezistenci, schopnost ulevit od symptomů menopauzy a předcházet tepenné i žilní trombóze. Je také zkoumán jako možná náhrada některých antibiotik, díky svému antimikrobiálnímu působení (Almaguer et al. 2014; Korpelainen & Pietiläinen 2021).

Důležitou součástí pěstování chmele a jeho následné použití v pivovarnictví je možnost skladování v horizontu měsíců. Historicky byl chmel po sklizni usušen, nappán do žoků a skladován na půdách. Toto řešení bylo vhodné jen v dobách bez možnosti celoročního chlazení. Chmel byl po sklizni zužitkován poměrně brzy. S nástupem chladících médií se začalo pivo vařit celoročně. Bylo proto nutné uchovat chmel od sklizně jednoho ročníku do sklizně ročníku následujícího. A proto se v tomto období začala rozvíjet technologie peletovaného

chmele. Po uzavření pelet do neprodyšných obalů je bylo možné skladovat až několik let bez jejich změny ve složení či čerstvosti (Darby 2005; Basařová et al. 2010; Mikyška et al. 2012).

2 Cíl práce

Cílem práce bylo stručně popsat historický vývoj pěstování a šlechtění odrůd Chmele otáčivého (*Humulus Lupulus*) používaných v USA a v Anglii. Dále také popsat nová, slibná použití chmele jiná než v pivovarnictví.

3 Literární řešerše

3.1 Historický vývoj pěstování chmele

Chmel otáčivý neboli *Humulus lupulus L.* je jedním ze tří druhů vytrvalých bylin z čeledi *Cannabaceae*. Všechny tři druhy - *H. yunnanensis* Hu. a *H. japonicus* Siebold & Zucc. - se vyskytují v Číně, která je obvykle považována za původní domovinu rodu *Humulus*. Chmel se v současnosti vyskytuje po celém světě v mírném podnebí (Alonso-Esteban et al. 2019; Korpelainen & Pietiläinen 2021).

3.1.1 Pěstitelské programy 20. století

Již v roce 1763 bylo vyzorováno rozmanité množství chmelů, které lze využít k získání určité, požadované hořkosti. Každý jedinec tuto hořkost vnímá jinak a požaduje jiné spektrum chutí, dále tato hořkost má vliv i na údržnost piva. Nicméně se zvětšujícím se mezinárodním trhem s chmelem konce 19. století si pivovary uvědomily, že některé dovážené odrůdy dosahují výrazně vyšší hořkosti než odrůdy domácí. Zlepšující se chemické a analytické možnosti brzy identifikovaly rozdíl v obsahu pryskyřic, toto zjištění bylo získáno na odrůdě Oregon Cluster z USA. Dále tyto dovážené odrůdy propůjčily pivu různé konzervační vlastnosti. Stejně jako dnes byly hořkost a trvanlivost tak důležitými vlastnostmi piva, že pivovary brzy začaly požadovat vylepšené odrůdy chmele, které by byly schopné dodat pivu větší hořkost nebo delší trvanlivost (Neve 1986).

Zároveň pěstitelé také vyžadovali stále lepší odrůdy. Hlavním důvodem byla neexistence efektivních pesticidů a fungicidů, z tohoto důvodu byla sklizeň velice variabilní mezi jednotlivými roky, primárně kvůli počasí, napadení škůdci a chorobami. Produkce chmelu, přesněji výnos, byl tak nepředvídatelný, že se v Anglii stal základem pro sázky. Zvýšená odolnost proti chorobám a škůdcům byla vyžadována pěstiteli, zvýšený výnos byl požadován pivovary a v odpověď vznikaly šlechtitelské programy, které se snažily uplatnit nové poznatky o genetice (Lance 1838; Darby 1998).

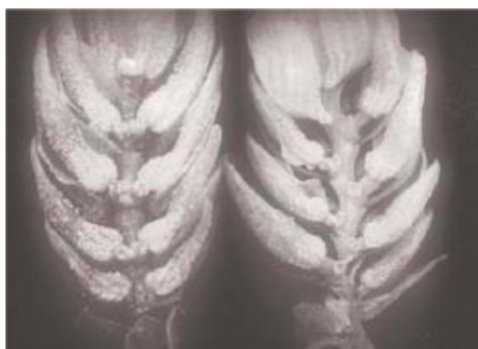
Další významné programy byly založeny v roce 1908 v USA, ovšem velice záhy byly ukončeny a obnoveny byly až roce 1931 v Oregonu, dále v roce 1911 byl založen šlechtitelský program v Carlsbergských laboratořích v Dánsku. V Japonsku byl obdobný program založen v roce 1912 ve městě Hokkaido, který byl později zakomponován do pivovaru Sapporo. Žatecký pěstitelský program byl založen roku 1924, přičemž byl primárně zaměřen na selektivní klonování odrůdy Saaz. V Německu byl pěstitelský program založen v roce 1926 ve městě Hüll, kvůli zhoršujícímu se problému s puchýřkatou plísní v oblasti Hallertau v Bavorsku. Po skončení 2. světové války vzniklo mnoho programů financovaných z veřejných zdrojů, například ve Slovinsku, na Ukrajině, v Polsku, Číně, Indii a na Novém Zélandu. Dále pivovarské společnosti založily programy v Japonsku, Austrálii, Jihoafrické republice a další programy v USA. Ačkoli důvody k založení těchto programů se různí a mají různé hlavní cíle, všechny se snaží o zvýšení obsahu chmelových pryskyřic, šlechtění nových aromatických odrůd, zvýšení výnosů, odolnosti proti škůdcům a chorobám, a také šlechtění pro získání

optimálních odrůd pro určité oblasti pěstování (Lance 1838; Darby 2005; Verzele & De Keukeleire 2013).

3.1.2 Šlechtění pro vysoký obsah pryskyřic

Šlechtění odrůd s vysokým obsahem pryskyřic, primárně α -hořkých kyselin, bylo ve 20. století úspěšné. Kolem roku 1900 jen málo odrůd přesahovalo 4% obsah α -hořkých kyselin, koncem 20. století byly získány odrůdy s obsahem 16-18 %. Toto je často označováno za největší úspěch pěstitelských programů 20. století. Snaha získat stále vyšší obsah α -hořkých kyselin trvale probíhá a je cílem většiny programů (Lance 1838; Verzele & De Keukeleire 2013).

Od uvedení odrůdy Northern Brewer na trh se procentní obsah α -hořkých kyselin průběžně po celém světě zvyšoval (Obrázek 1). Obsah α -hořkých kyselin v Northern Brewer byl překonán mnoha odrůdami, například australskou odrůdou Ringwood (1953), slovinskou odrůdou Apollo a Atlas (známé taky jako “Super-Styrians“, 1971), anglickou odrůdou Wye Northdown (1971) a odrůdami Galen a Eroica z USA (1979 a 1982) (Verzele & De Keukeleire 2013).



Obrázek 1; Porovnání obsahu pryskyřic mezi odrůdami z 19. století (vpravo) a 20. století (vlevo); (Darby 2005)

Wye Target (1972) byla první odrůdou s konstantním obsahem α -hořkých kyselin přesahujícím 10 % a díky této vlastnosti se stala velice úspěšnou a dominantní na území Velké Británie. Nicméně kvůli tomuto vývoji vysokoobsažných chmelů, s více než dvojnásobným obsahem hořkých kyselin oproti původním odrůdám, dochází k přerodu v obchodování s chmelem jako takovým, protože chmel je nakupován dle obsahu α -hořkých kyselin. Tento posun v trhu vynesl USA na pomyslné první místo mezi producenty α -hořké kyseliny. Pěstitelské programy na univerzitách v Oregonu a Washingtonu nadále vyvíjely vysokoobsažné odrůdy, jako jsou: Nugget (1983), Olympic (1983) Chinook (1985) (Lance 1838; Verzele & De Keukeleire 2013).

Významný vývoj v oblasti zpracování chmele zvýšil důležitost šlechtění pro vysoký obsah α -hořkých kyselin. Více než 85 % světového objemu chmele je zpracováno do pelet, extraktů a dalších produktů. Tyto operace snižují množství reálně skladovaného chmele a vyžadují nové způsoby balení pro zlepšení a prodloužení skladování. Nicméně návratnost

takovéto operace je určena obsahem α -hořkých kyselin. Toto vede ke šlechtění nových generací vysokoobsažných chmelů s obsahem α -hořkých kyselin vyšším než 15 %. Této generaci, vzniklé mezi lety 1990-2000, se říká také "super-alfa" typy. Patří k nim Admiral z Wye institutu, Taurus a Magnum z Německa, Eastern Gold a Kitimadori z Japonska, Pacific Gem z Nového Zélandu, Victoria a Opal z Austrálie, Columbus, Tomahawk a Millennium z USA. Zvyšování obsahu pryskyřic je jedním z důvodů, proč nenarůstá objem pěstovaného a sklizeného chmele, z tohoto profitují hlavně pivovary, které nakupují chmel podle obsahu α -hořkých kyselin nehledě na odrůdu nebo místo původu. Pro pěstitele potřeba pěstitelské plochy klesá přímo úměrně rostoucímu obsahu požadovaných látek. Zlepšující se znalosti v oblasti analytické chemie dovolily rozluštění složení chmelových pryskyřic a jejich celkový obsah. Toto vedlo k důrazu na zvýšení kvality těchto pryskyřic. V průběhu chmelovaru dochází k izomerizaci a následnému vzniku šesti různých izomerů α -hořkých kyselin, které dodávají různé typy hořkosti. Na základě experimentů na různých odrůdách bylo vyzorováno, že mnoho sládků nemá rádo hořkost dodávající kohumulenu a preferují nákup odrůd s nízkým obsahem této složky. Tato vlastnost je velice dědivá, proto se obsah kohumulenu snížil pomocí šlechtění téměř na polovinu. Stará odrůda Brewers Gold obsahovala až 45 % kohumulenu a moderní Magnum obsahuje jen 25 % (Wilson 1975; Darby 2007).

Od roku 1980 se začíná více využívat zpracovaného chmelu, na což navazuje důležitost ekonomického zpracování, stabilita α -hořkých kyselin je dalším důležitým faktorem. Obecně je u odrůd s vysokým obsahem α -hořkých kyselin považováno za důležité, aby byly dlouho skladovatelné, s minimálními ztrátami těchto látek v prvních pár měsících předcházejících využití. Z přehledu pokroku ve zvyšování skladovatelnosti odrůd však vyplývá, že zvýšení celkového obsahu α -hořkých kyselin obecně předcházelo zlepšení skladovatelnosti. Odrůda Brewers Gold (1934) měla špatnou skladovatelnost, její následovník, odrůda Northern Brewer (1944) měla skladovatelnost lepší. Podobně Wye Target (1972) se skladoval velmi špatně, ale odrůda Nugget (1983) byla dobře skladovatelná. Columbus (1998) měl nejhorší skladovatelnost z hořkých odrůd, jeho potomek Millennium (2000) je dobře skladovatelný (Murakami 1999; Darby 2005).

3.1.3 Šlechtění aromatických odrůd

Šlechtění aromatických odrůd bylo výrazně méně úspěšné než vysokoobsažných odrůd. Mnoho pivovarů pokračovalo v používání tradičních odrůd, k získání aromatu a chuti piva. Naneštěstí pro ně, velká část tradičních odrůd byla opuštěna a přestala se pěstovat, s nástupem mechanizace mezi lety 1945 a 1965, u tradičních odrůd šišťice často vyrůstaly ve shlucích (hroznech), díky této vlastnosti mohly být trhány plnými hrstmi. Takovéto hrozny nejsou vhodné pro zpracování mechanizací, protože jsou častěji poškozeny, nebo nelze docílit oddělení listů od šištic bez lidské práce. Tradiční odrůdy, které přetrvaly, z důvodu poptávky od pivovarů, měly velké nevýhody pro pěstitele (Burgess 1964; Darby 1998).

Cílem šlechtitelů bylo zlepšení agronomických vlastností konkrétních oblíbených tradičních odrůd a zároveň zachování aroma co nejbližšího původnímu. Přestože se používají metody šlechtění pomocí rodokmenů, komplexnost a subjektivita tohoto úkolu, spolu

s nedostatkem vědeckých poznatků o podílu chmelového aroma na vůni a chuti piva znamená, že je velmi obtížné vypěstovat sadbu, u které by se aroma blížilo mateřské odrůdě. Nové odrůdy se prosadily pouze tehdy, když byla produkce tradiční odrůdy vážně ohrožena, často novou chorobou (Neve 1991a).

Odrůda Northern Brewer, také semenáček po Goldingu, nebyl identifikován jako rezistentní k virulentnímu verticiliovému vadnutí vyskytujícímu se v Anglii, ale byl shledán rezistentním vůči kmenu vyskytujícímu se v regionu Hallertau v Německu. Úspěch odrůdy Northern Brewer, ve chmelařské oblasti Hallertau, byl připsán dobré kombinaci několika faktorů. Mezi tyto faktory patřil vysoký obsah α -hořkých kyselin, dobrého aroma a rezistenci k verticiliovému vadnutí. Německý šlechtitelský program pokračoval ve šlechtění v rezistenci k verticiliovému vadnutí v aromatických odrůdách, nejnovější odrůdou je Tradition (1993) jako rezistentní náhrada Hallertau Mittelfrüh a Select (1993) jako náhrada za Spalter (Keyworth 1942; Darby 2005).

V roce 1924 byla poprvé popsána peronospora chmelová (*Pseudoperonospora humuli*; Obrázek 2), v důsledku devastující epidemie na chmelařských územích po celé Evropě. Odpovědí byl šlechtitelský program v Hüll na území Německa, jehož jediným úkolem bylo vyšlechtění rezistentních odrůd k této chorobě. Jako Dr. Salmon s α -hořkými kyselinami, tento německý program hledal odpověď v potomstvu divokých chmelů. Trvalo téměř 40 let, než tento program dosáhl prvního úspěchu ve formě dvou odrůd, Hüller Anfang (1962) a Hüller Fortschritt (1966). Rezistence k peronospoře chmelové je nyní zakomponována do všech nových odrůd pocházejících z programu Hüll. Z těchto dvouúčelových odrůd, Perle (1978) vykazuje největší úspěšnost, kombinující rezistenci k peronospoře chmelové a verticiliovému vadnutí spolu s dobrým aroma a hořkostí. Jako taková téměř nahradila Northern Brewer v oblasti Hallertau. Dvouúčelová Anglická odrůda Wye Challenger (1971), je také silně rezistentní k peronospoře chmelové, za svou rezistenci vděčí rezistentní zárodečné plazmě, vyvinuté v Hüllu v 50. letech minulého století (Neve 1991a).



Obrázek 2; Napadení chmele peronosporou chmelovou.

<http://www.chizatec.cz/skudci/?arc=170&sub=65&back=1>

V USA byla hrozba peronospory chmelové značně nižší než v Evropě, díky přesunu z vlhčího východního pobřeží na sušší západní. Pěstování na západním pobřeží začalo na území státu Kalifornie, poté bylo přesunuto do Oregonu, Idaho a státu Washington. Nicméně tato

choroba nevyhnutelně provázela produkci. Odrůda Clusters, která je vysoce náchylná k peronospoře chmelové, nebylo možná nadále pěstovat ve státě Oregon. Bylo přivezeno několik Evropských odrůd, které vykazovaly odolnost vůči peronospoře chmelové, mezi tyto odrůdy patřil i Fuggles. Tyto Evropské chmele ale nebyly přizpůsobeny podmínkám panujícím v USA, a proto vykazovaly nízký výnos. Pěstitelský program Oregonské státní univerzity použil Fuggle jako rodiče k produkci aromatických odrůd rezistentních vůči peronospoře chmelové, vhodných k pěstování v Oregonské oblasti. Nejúspěšnějšími odrůdami vzešlými z tohoto programu jsou Cascade (1972) a Willamette (1976) (Royle & Kremheller 1981).

Archeologický nález Graveney Boat, nákladní loď z roku 950, dokazuje obchodování s chmelem již od středověku. Pivovary byly nuceny dovážet chmel ze zemí kde rostl, pokud nebyl k dostání v domovské zemi pivovaru. Nepřizpůsobení odrůdy, nejčastěji z důvodu změny zeměpisné šířky a délky dne, způsobuje nízké, neekonomické výnosy. Toto je primární problém Evropských aromatických odrůd dovážených do USA. Pěstitelé se ve snaze snížit závislost na dovozu, snažili vyšlechtit odrůdy s aroma podobným importovaným chmelům, ale vhodné pro pěstování v USA. Zpočátku byla selekce zaměřena na hlavní esenciální oleje, následovala organoleptická hodnocení a varní zkoušky. Jak již bylo popsáno, vyšlechtěné náhrady za Fuggle byly: Willamette a Cascade. Náhrada za Hallertauzský typ byly: Mount Hood (1989), Liberty (1992), Crystal (1993) a Vanguard (1998). Odrůda Sterling (1989) je substituční odrůdou za Saaz, dále Ultra (1995) je křížencem Saazu a Hallertau. Podobně Santiam (1997) má profil esenciálních olejů podobný Tettnangu, Glacier (2000) připomíná Strisselspart a Hersbrucker Spät (Wilson 1975; Behre 1998; Darby 2007).

Japonsko bylo také velmi závislé na dovozu chmele, převážně odrůdy Saaz. Snaha vyšlechtit ekvivalentní japonskou odrůdu započala v roce 1912 a vznikla z nich odrůda Shinshu Wase, která je křížencem odrůdy Saaz. Stala se hlavní odrůdou pěstovanou v Japonsku po dalších 50 let. Nový šlechtitelský program zahájený v roce 1967, se však pokusil spojit aroma typu Saaz s lepšími agronomickými vlastnostmi. Z tohoto programu byla v roce 1988 zpřístupněna odrůda Furano Ace (Beard & Thompson 1961; Darby 2005).

Snaha o zvýšení výnosů tradičních odrůd díky křížení a selekci byla cílem Evropských programů v Německu, Slovinsku a ČR. Odrůdy Opal (2001) a Saphir (2002) vznikly v Německém programu. Patří do skupiny vysoko výnosných odrůd jako jsou: Perle, Tradition a Select. Jsou považovány za alternativu k jejich předchůdcům Northern Brewer, Halertau Mittelfrüh a Spalter. Slovinská A-série „Super-Styrians“, popsaná dříve, byla následována v roce 1979, B-sérií vonných typů. V této sérii je Bobek, Buket a Blisk. Dále v 90. letech aroma typu C-série, Cicero, Cekin, Celeia a Cerera. s výjimkou odrůdy Bobek, která je potomkem Northern Brewer, mají všechny tyto Slovinské odrůdy v blízkém příbuzenství Savinjski Golding. Český program byl zaměřen na selekci klonů po Saazu. Nicméně po rozpoznání dlouhodobého snižování výnosů této odrůdy, započaly omezené programy na hybridizaci mezi Saazem a Northern Brewer. Z tohoto programu vzešly odrůdy Sládek (1994), s dvojnásobným výnosem oproti Saazu, dvouúčelové odrůdy Bor (1994) a Premiant (1996) (Beard & Thompson 1961; Darby 2005).

Značná část výzkumníků, v těchto programech, si byla vědoma toho že, hybridizací nedocílí zachování ceněných aromat typických pro tyto odrůdy. A proto byl zájem obrácen k selekci klonů. Nejvýznamnější byl program v ČR, kde došlo ke katalogizaci a testování lokálních pododrůd Saazu z let 1924-1987, které postupně překonaly samy sebe ve výnosech. Jednalo se o odrůdy Lučan (1941), Blato (1952), klony "31", "72" a "114" (1952), Širem (1969), Zlatan (1976), Podlešák (1989) a Blanka (1993). V Anglii, v East Malling proběhla podobná selekce mezi klony odrůd Goldings a Fuggles mezi lety 1931 a 1957, a to z důvodu potřeby vytvořit jednotné zásoby sadby pro distribuci prostřednictvím certifikovaného systému zprovozněného v roce 1943. Toto bylo kombinováno se strategiemi z roku 1955 zaměřenými na eliminaci peronosporu chmelové a k poskytnutí velmi zdravé sadby tradičních odrůd. Podobná selekce klonů je zaznamenána v Rusku, s použitím tradiční odrůdy Serebrianker, ve Francii s krajovou odrůdou Strisselspalt a v USA s odrůdou Clusters (Beard & Thompson 1961; Pethybridge et al. 2008).

Kvantita a kvalita pryskyřic, stejně tak složení esenciálních olejů je považováno za podstatu aromatických odrůd. Tradiční odrůdy jsou odlišitelné díky nízkému obsahu α -hořkých kyselin a dříve popsanému nízkému obsahu kohumulenu v těchto hořkých odrůdách. Šlechtění nových aromatických odrůd se nadále snažilo o zachování charakteristik tradičních odrůd, avšak obsahu kohumulenu byl často ještě snížen. Některé z nejnovějších aromatipů mají velmi nízký obsah kohumulenu, odrůda Glacier (2000) má momentálně nejnižší obsah s 11-14 %. Názory na dobrou skladovatelnost se různí, nové aromatické odrůdy, jako jsou Mount Hook z USA a First Gold z Anglie, se skladují jen středně dobře (Pethybridge et al. 2008).

3.1.4 Šlechtění pro vyšší výnos

Snaha pěstitelů v 80. letech 20. století zaměřená na vyšlechtění výnosnější odrůdy pomocí zvyšování vitality chmelových rostlin, většího počtu šištic nebo zvýšení jejich hmotnosti, se ukázala jako neproveditelná. Zvýšená vitalita je spojována s negativní schopností samostínění, což snižuje výnos. Nicméně vývoj triploidních odrůd vykazuje potenciál ve zvyšování výnosů (Dark 1952; Darby 2005).

Některé výše zmiňované odrůdy jsou triploidní. Například Willamette, Blisk a všechny Slovinské odrůdy C-série. Na rozdíl od diploidních hybridů, které mají stejné množství genetické informace od obou rodičů, triploidní odrůdy mají dvojnásobné množství genetické informace od jednoho rodiče. Tato technika, vyvinutá v Japonsku, byla aplikována na několik tradičních aromatických chmelů z Evropy pod dohledem (Dark 1952) v institutu Wye. Tato technika je velice vhodná pro šlechtění aromatických odrůd, protože požadované aroma samičí rostliny je snáze zachováno. Zkoušky triploidních odrůd v Anglii byly neúspěšné kvůli zvýšené vitalitě, která zapříčinila samostínění, napadení nemocemi, opožděné dozrávání a snížený výnos. Ale tam, kde je více slunečných dní a jsou vyšší chmelnice, tam jsou schopny triploidní odrůdy produkovat výrazně vyšší sklizeň. Například všechny odrůdy vyšlechtěné od 70. let 20. století na Novém Zélandu jsou triploidní, patří mezi ně Hallertau Aroma (1988) a Pacific Hallertau (1994), a vysokoobsažné odrůdy Pacific Gem (1987) a Pacific Sunrise (2000). Millennium je triploidní vysokoobsažná odrůda z USA (Dark 1952; Neve 1991b; Darby 2005).

Technologická vylepšení v USA v oblasti sklizňových strojů a designu a konstrukce sušáren chmele, zejména v 90. letech 20. století, umožnila sklízet vysoce vitální odrůdy jako je Millennium. Dřevěné konstrukce byly na většině amerických chmelnic nahrazeny betonovými. Tyto změny umožnily větší průchodnost plodin během sklizně. Kromě toho došlo v USA ke změně v pěstování plodin, kdy byla rozšířena meziřadí na chmelnicích, aby k rostlinám pronikalo více světla. Bylo dosaženo vyšších výnosů díky novým odrůdám s těžšími šišticiemi. Za zmínku stojí odrůda Columbus (Obrázek 4), která dosahuje výnosů až 3400 kg/ha ve srovnání s 2400 kg/ha u odrůdy Clusters (Obrázek 3). To je způsobeno především velmi těžkou šišticí, kterou je v důsledku toho obtížné dostatečně usušit pro dlouhodobé skladování (Neve 1991c; Darby 2005).



Obrázek 3; Odrůda Cluster
<https://www.brookhousehops.com/shop/hops/us-yakima-chief/columbus-2/>.



Obrázek 4; Odrůda Columbus
<https://www.brookhousehops.com/shop/hops/us-hops/cluster/>

3.1.5 Šlechtění rezistence vůči škůdcům a chorobám

Padlí chmelové (*Podosphaera macularis*; Obrázek 5) se náhle objevilo v Americkém státě Washington v roce 1997 a způsobilo devastující škody. Již dříve bylo pozorováno na východním pobřeží, ale až do roku 1997 nebyly případy na západním pobřeží. Většina odrůd v USA byla velmi náchylná k tomuto onemocnění, ale odrůda Nugget vykazovala kompletní imunitu. Nugget je nositelem R6 genu spojovaného s rezistencí. Tato rezistence byla rychle rozpoznána a využita pro vyšlechtění semenáčků odrůd Millennium a Newport. Šlechtění bylo dále urychleno dalšími zkouškami a během tří let došlo k registraci odrůd rezistentních k chmelovému padlí (Darby 2001, 2005).



Obrázek 5; napadení chmelovým padlím;
<http://www.chizatec.cz/skudci/?arc=171&sub=65&back=1>

Screening divokých odrůd chmele v Německu a USA dokázal mírnou rezistencí těchto rostlin, ale tato rezistence není dostatečně vysoká, aby zabránila napadení mšičí chmelovou, proto je nutné využívat pesticidů. Nicméně na Wye College, bylo zjištěno, že divoké Japonské odrůdy vykazují silnou heritabilní rezistenci. Díky této rezistenci nebylo třeba postříků pesticidy k zajištění odolnosti vůči chmelové mšiči, na toto zjištění navazují šlechtitelské programy. Prvním krokem byla mezi lety 1992-1995 implantace rezistence do lokálně adaptovaných rostlin s komerčně požadovanými atributy. První odrůda s rezistencí vůči

chmelové mšici byla Boadicea, uvedená k registraci v roce 2005, zůstala bez napadení po celou dobu vegetace ve všech pěstitelských zkouškách (Darby 1994).

Rozdílná míra napadení dalším významným škůdcem, sviluškou chmelovou (*Tetranychus urticae*), byla objevena mezi různými genotypy. Nicméně tento škůdce se dokáže sexuálně rozmnožovat několikrát za vegetační období, a proto by jakákoli rezistence neměla dlouhého trvání. Z tohoto důvodu šlechtitelský program pro získání rezistentních odrůd není pravděpodobný (Darby 1998).

Černá hniloba kořenů (*Phytophthora citricola*; Obrázek 6) je jediné sporadicky se vyskytující onemocnění na severní polokouli, ale je nejvýznamnější chorobou Novozélandského chmele. Až do 50. let 20. století bylo každoročně téměř 25 % novozélandských chmelnic znovu osazováno, kvůli úspěšnosti primární pěstované odrůdy, California (pozdní Cluster). V roce 1949 by založen šlechtitelský program speciálně zaměřený na zvýšení odolnosti vůči černé hnilobě kořenů. U Anglické odrůdy Fuggle byl nalezen gen vykazující rezistenci, byl křížen s lokálními odrůdami pro vznik First Choice (1960), Calicross (1960) a Smooth Cone (1961). Tetraploidní varianty těchto odrůd byly použity k vykřížení triploidních odrůd Sticklebract, Super-Alfa a Green Bullet na počátku 70. let. Screening semenáčků kvůli rezistenci k černé hnilobě kořenů se stalo rutinní součástí Novozélandského šlechtitelského programu, následně díky této činnosti vznikly odrůdy Alphaaroma a Pacific Gem, které jsou imunní (Beatson 1993).



Obrázek 6; napadení chmele černou hnilobou kořenů; (David H. Gent 2016)

Ačkoli rezistence vůči houbovým onemocněním je prevelentní ve většině odrůd z 20. století, žádné kultivary nemají rezistenci vůči hmyzu nebo mšicím (*Phorodon humuli*, mšice chmelová; Obrázek 7), což má vliv na více než 90 % světových chmelařských oblastí a s tím je spojena nutnost alespoň jednoho postřiku insekticidem za sezónu. Ve většině Evropy, včetně Anglie, tento škůdce může mít devastující účinky na chmelové rostliny, dochází k úplné destrukci rostliny. Napadení bylo důvodem k rozvoji praxe sázet si na úrodu, zmiňovaného výše. Dnes je využíváno kontinuálního monitoringu v celém vegetačním období, postřik insekticidy je proveden pouze při výskytu, protože i velmi malé zamoření způsobuje úbytek energie potřebné pro růst kvalitních chmelových šištic (Darby 1994).



Obrázek 7; napadení chmele mšicemi a sviluškami;
<https://www.britishhops.org.uk/pest-disease/7>

3.1.6 Lokálně důležité šlechtění

Šlechtitelské programy v Německu, Slovinsku, Polsku a USA započaly šlechtění zakrslých odrůd jako odpověď na zvětšující se pěstební plochy nebo zvyšující se cenu lidské práce. Adaptace chmele na délku dne – chmel je krátkodenní rostlina, kvetení je zpuštěno zkrácením dne pod kritických 15,5 hodiny. Z tohoto důvodu je většina světové produkce chmele soustředěna mezi zeměpisnými šířkami 35° a 55° (60°). V zemích mimo toto rozhraní je pěstování chmele neekonomické a je nutné využívat dovozu. Šlechtitelské programy v Jihoafrické republice, Mexiku a Kolumbii, a mnoho zkušebních programů v Indii, Argentině a Keni, se pokouší o vyšlechtění odrůdy schopné ekonomického pěstování s výrazně kratší délkou dne (Darby & Farris 1991; Darby 2005).

Zvýšená politická a ekonomická izolace Jihoafrické republiky, následující po zvolení National Party in South Africa's v roce 1948 a přijetí nové legislativy na počátku 50. let, mělo za následek založení šlechtitelského programu v roce 1956, pod vedením South African Breweries Hop Farms Ltd. (tehdy Union Hop Growers Ltd.), který použil semena odrůdy Fuggle a Hallertau dovezených z Wye College. Cílem bylo vyvinout odrůdu adaptovanou na místní podmínky s vyššími výnosy. Bylo nutné překonat výsledky odrůdy Golden Cluster pěstované v tomto období. Na počátku 60. let byla tato odrůda napadena černou hnilobou kořenů, a produkce mohla pokračovat jen díky uvedení Australské odrůdy Pride of Ringwood v roce 1968. Nicméně, v roce 1972 vznikla první odrůda v místním šlechtitelském programu. Tato odrůda byla semenáčkem po odrůdě Fuggle, pojmenovaná Southern Brewer, a velice rychle se stala nejpěstovanější odrůdou v Jihoafrickém chmelařském průmyslu. Ačkoli lépe adaptovaná, stále potřebovala umělé osvětlení k dosažení ekonomických výnosů. Tento problém byl vyřešen následujícími odrůdami, které byly schopny tolerovat kratší den. Návrat Jihoafrické republiky do mezinárodních kruhů na počátku 90. let zapříčinil dramatické zvýšení potřeby takovýchto odrůd. Naštěstí se několik odrůd nacházelo v pokročilé fázi hodnocení a v roce 1992 byly uvolněny odrůdy Outeniqua a Southern Promise, které bylo možné jako první pěstovat bez dodatečného osvětlení. Odrůda Southern Promise byla také dobře přizpůsobena nedostatku zimního chladu, který se v oblasti pěstování chmele v Jihoafrické republice

nevyskytuje. Jihoafrický šlechtitelský program je stále aktivní a poslední vyšlechtěnou odrůdou je Southern Star (2001), která je vysokoobsažným semenáčkem odrůdy Outeniqua (Darby 2005).

3.2 Rozsah pěstování a vybrané pěstební oblasti

V České republice se chmel pěstuje v oblastech Žatecka, Ústecka a Tršicka, ve Spolkové republice Německo je pěstován v oblastech Hallertau, Hersbruck, Spalt a Tettang, dalším významným Evropským pěstitelem je Anglie s oblastmi Kent, Suffolk, Surrey, Sussex, Herefordshire a Worchestershire, dále se chmel v Evropě pěstuje ve Slovinsku, Polsku, Rusku a na Ukrajině. V zámoří je největším pěstitelem USA s oblastmi v údolích řek Yakima, Willamette, Bois a Snake. Dalšími pěstiteli jsou Austrálie, Čína, Indie, Japonsko, Jihoafrická republika a Nový Zéland (Daněk et al. 1982; Darby 2005; Basařová et al. 2010).

3.3 Morfologie chmelové rostliny

Hlavní částí chmelové rostliny je kořenová soustava, réva s pazochy a listy s květenstvím. Chmel má bohatou kořenovou soustavu, jejímž základem je chmelová babka, která může růst až 30 let. Kvůli svému rozsáhlému kořenovému systému potřebuje bohatou, dobře propustnou a hlubokou půdu. Ze svislých kořenů obvykle vyrůstá velké množství drobných kořínků. Z babky vyrůstá hlavní kulový kořen až do hloubky 6 metrů, do stran vyrůstají postranní oddenky, zvané vlky, které se odřezávají. Směrem nahoru vyrůstá réva, která má šestiúhelníkový průřez. Je pokryta dolů směřujícími trichomy, jenž jí umožňují pravotočivě se popínat po opoře do výšky 7-18 metrů. Listy se třemi až pěti laloky a vroubkovanými okraji jsou protistojné nebo střídavé. Ačkoli se občas vyskytují jednodomí jedinci, chmel je dvoudomá rostlina. Miniaturní květy jsou opylovány větrem. První fáze květu se nazývá osýpka, přechází do strobilů neboli chmelových šištic dlouhých 2,5-5 cm, jenž jsou kuželovité útvary, které lze pozorovat na samičích rostlinách. Jsou tvořeny pravidelně se střídající stavbou pravých a krycích listenů, které jsou připevněny k vřetenku. Při oplození dojde k vývinu semene neboli pecky - jedná se o malý, suchý plod, který se při dozrání neotvírá. Na vnitřní straně listenů se při zrání chmele vylučují pryskyřičná zrna lupulinu, jenž obsahují chmelové pryskyřice a silice (Daněk et al. 1982; Basařová et al. 2010; Amoriello et al. 2020).

Chmel vypěstovaný ze semen není kopií původní rostliny, ale křížencem, proto nemá vždy požadované vlastnosti. Z toho vyplývá, že každý semenáček je geneticky jedinečný, v každé možné charakteristice, což bylo v povědomí od počátků používání chmelu k vaření piva. Standardně používaný je ovšem proces klonové selekce. Identifikace, selekce, množení, a zavedení nejlepších rostlin je základní krok ve šlechtitelství (Lance 1838; Darby 1998).

3.4 Anglické odrůdy

3.4.1 Úvod do Anglických odrůd

Po několika staletích pěstitelské selekce vzniklo velké množství různých odrůd. Do roku 1900 bylo popsáno více než 20 odrůd jen v Anglii a dalších 60 na pevninské Evropě. Pomocí moderních metod analýzy esenciálních olejů bylo rozlišeno, které odrůdy jsou klony jedna druhé, a které jsou vlastní odrůdou. Odrůdy jako jsou: Rodmersham, Mercers, Mathon, East Kent, Canterbury, Cobbs, Bramling, Eastwell a Early Bird jsou klony původní odrůdy Golding, vybrané v roce 1790. Klony Goldingu se liší v období dozrávání, výnosu a odolnosti k chorobám. Naproti tomu Fuggle, je samostatná odrůda vybraná v roce 1861 jako náhodný semenáček, později však analýza pryskyřic ukázala, že Savinjski Golding a Fuggle jsou klony jedné odrůdy. Většina odrůd pěstovaných před rokem 1900 se dnes již nepoužívá, ale tato časová perioda přinesla několik odrůd, které jsou stále pěstovány a vysoce ceněny i dnes (Neve 1986; Darby 2005).

3.4.2 Historie pěstování

Ačkoli je zdokumentována kultivace chmele v Evropě již v 9. století, v Anglii jsou první zmínky z roku 1524, přesný původ a pěstitelské metody nejsou známy. Nicméně, dělení podnoží neboli odřezávání podzemních oddenků pro vegetativní množení chmele je dobře popsáno již v nejstarších záznamech (Scot 1576). Od roku 1669 jsou záznamy o různých odrůdách s rozdílnými atributy. S největší pravděpodobností tyto odrůdy byly výsledkem adaptací na půdu a klimatické podmínky v pěstitelské oblasti. Odrůdy přizpůsobené místním podmínkám začaly být nejčastěji pěstovanou odrůdou v té dané oblasti a vešly ve známost pod jejím názvem nebo pod nezaměnitelným morfologickým znakem. J. Percival popsal v roce 1909 tyto odrůdy: Farnham Hop, Canterbury Whitebine a Golden Tips. Podobné praktiky ve světě vedly ke vzniku řady odrůd jako jsou Saaz z ČR nebo Hallertau či Tettnang z Německa (Scot 1576; Percival 1901; Neve 1986).

Ve spolupráci s lokální adaptací, mohly odrůdy vzniknout také přirozenou změnou klonu nebo náhodným opylením a následným uchycením semenáčku. Pokud takové rostliny měly požadované kvality, byly pojmenovány po objeviteli (pěstiteli), takto vznikly odrůdy Mr Goldig's hop nebo Mr Fuggle's hop, později zkráceno na Goldings a Fuggles. Tradiční odrůda v USA, Clusters, je náhodným semenáčkem, který vznikl hybridizací mezi Evropskými chmely dovezenými Massachusetts Company v roce 1629, a divokými Americkými chmely (Brooks et al. 1961).

Verticiliové vadnutí bylo studováno Keyworthem v East Mailling, Kent. Prováděl terénní screening pokročilých výběrů vycházejících z programu Wye College, které byly často získány křížením divokých chmelů z USA a dobře hodnocených Evropských aromatických chmelových odrůd. Bylo získáno množství odolných aromatických odrůd, jako jsou: Early Choice (1948) a Bramling Cross (1951), které jsou semenáčky po Goldingu a jsou dodnes využívány. Společný program Wye College a East Mailling byl zaměřen na vyšlechtění

alternativ k Fuggles odolných k verticiliovému vadnutí. Vzniklo několik variací, ze kterých byl Progress (1967) neúspěšnější. Je pěstován dodnes (Keyworth 1942; Darby 2005).

3.4.3 Pěstební podmínky a sklizně

Marketingové komise a plánované národní ekonomiky, přítomné velkou část 20. století, byly rozpuštěny a přeměněny na ekonomiky tržní, z tohoto důvodu mají pěstitelé konkurenci ve formě volného globálního trhu. Průměrná chmelnice v Anglii má 23 ha, toto je příliš velká rozloha pro hospodaření typu rodinné farmy, stejný problém má většina kontinentální Evropy. V USA tento problém nevznikl díky budování obrovských ploch s plnou mechanizací a dostatečným množstvím pracovníků. Evropané chmelaři byli nuceni snížit cenu práce, a závislost na lidské manuální práci. Výsledkem bylo zjednodušení pěstitelských systémů, zejména produkce na nízkých chmelnicích, s cílem snížit výrobní náklady a zvýšit konkurenceschopnost. V systému nízkých chmelnic rostou chmelové liány jako neporušený keř, vysoký 2,3-3 m (Obrázek 8). Tento systém je jednodušší a levnější na konstrukci, vhodnější pro mechanizaci a může být snadněji postřikován pro kontrolu škůdců a chorob. Nicméně odrůdy vyšlechtěné pro vysoké chmelnice, výška minimálně 5 m, jsou zcela nevhodné do nízkého systému a jejich přímým přenosem může dojít k výraznému poklesu výnosů. Z tohoto důvodu byl založen šlechtitelský program na Wye College pod vedením R. A. Neve v roce 1977. Tento program měl za cíl vyšlechtit nové zakrslé odrůdy, které jsou nízké a méně vitální, přesto produkují podobné výnosy jako konvenční odrůdy (Neve 1991b).

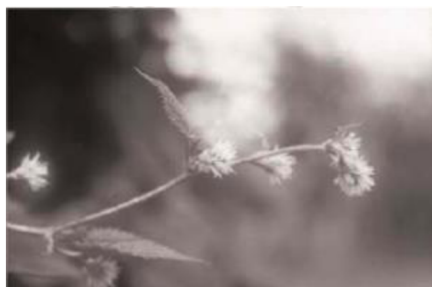


Obrázek 8; sklizeň zakrslých odrůd; (Darby 2005)

Původ tohoto programu lze opět vysledovat k Dr. Salmonovi. Jeho poznámky z roku 1911, indikují pozorování zakrslých odrůd ve šlechtitelských zahradách. Popis jedné z nich: „středně dlouhé postranní lístky, velmi blízko u sebe, velmi plodné, ale bez přímé perspektivy“. Důraz na slovo „přímé“ navrhuje možnost, ačkoli tato rostlina mohla být výnosnou, nehodila se do tehdejšího způsobu šlechtění. Zakrslý charakter vstoupil pravděpodobně s divokými chmely z USA v programu zvyšování odolnosti proti chmelovému padlí při zkoumání genu „blister“. Tato kombinace cílů nebyla přítomná v žádném jiném pěstitelském programu, což by mohlo vysvětlovat vznik zakrslých rostlin v programech na Wye spolu s jejich nepřítomností v jiných programech do nedávné minulosti. Neve sbíral volně opylovaná semena zakrslých rostlin od roku 1977, která byla dále použita jako rodiče další generace v roce 1982. Analýza růstových zvyklostí segregančních potomků z těchto křížení poskytla dostatek informací, aby Darby v roce 1985 zahájil program vývoje komerčních trpasličích odrůd pro Anglii. První

zakrslé odrůdy byly: First Gold, Herald a Pioneer (1996), následované odrůdou Pilot (2001) a Boadicea (2005) (Darby & Farris 1991; Darby 1999).

Chmelová rostlina je velmi citlivá k délce dne a lokálním půdním podmínkám, z tohoto důvodu se odrůdám většinou nedaří mimo území původního výskytu. Ačkoli výměna odrůd mezi pěstiteli z různých zemí probíhala století, pěstitelské programy musely operovat na území pro které chmel šlechtily (Obrázek 9) (Lance 1838).



Obrázek 9; kvetení chmele způsobení zkrácením dne; (Darby 2005)

3.4.4 Šlechtitelské programy v Anglii

The Wye programme založený Dr. Salmonem v roce 1906, položil základy pro veškeré šlechtění chmele ve 20. století. Nástupnické programy dodržovaly jeho metody, procedury, vytyčené cíle a odrůdy které vyšlechtil. (Darby 1998, 2005; Neve 2012)

Šlechtění pro zvýšení obsahu pryskyřic započal Dr. Salmon ve Wye College vnesením divokých severoamerických chmelů do šlechtitelských programů po zjištění, že tato vlastnost je vlastní primárně americkým chmelům, nikoli evropským, ačkoli aromatické vlastnosti byly na nižší úrovni. Princip používání potomstva divokých chmelů bylo velice inovativní, šlechtění v této době bylo založeno na křížení komerčně dostupných odrůd. Dr. Salmon tvrdil, že je možné získat vysokoobsažnou odrůdu bez nežádoucího „Amerického“ aroma. Nicméně toto tvrzení bylo částečně vyvráceno vznikem prvních dvou úspěšných odrůd, Brewer's Gold (1934) a Bullion (1938), které si zachovaly typické „Americké“ aroma. Úspěch si vydobily pouze díky 8 % α -hořkých kyselin a vysokému výnosu. Další úspěšnou odrůdou byla Northern Brewer (1944), potomek Golding a samčí rostliny „Americké“ linie, byla první, která měla požadované „Evropské“ aroma a zároveň vysoký obsah α -hořkých kyselin. Tyto tři odrůdy byly pěstovány na pevninské Evropě, v USA a také v Anglii. Od těchto tří původních odrůd je možné odvodit původ více než 50 % odrůd moderního chmele, jedinou výjimkou původních odrůd, které nejsou odvozeny od variací Dr. Salmona, jsou Talisman a Comet (Lance 1838; Verzele & De Keukeleire 2013).

Verticiliové vadnutí, způsobené *Verticillium alboatrum* (Obrázek 10), se v Anglii poprvé objevilo v roce 1920, v pevninské Evropě bylo zdokumentováno až 50. letech 20. století. Není žádný chemický způsob ochrany rostlin před touto chorobou pocházející z půdy, její virulentní kmeny jsou schopny ničit celé chmelnice. Všechny tradiční odrůdy jsou náchylné a kvůli tomu bylo pokračování odrůd Fuggle a Goldings v ohrožení, stejně tak odrůda Hallertau Mittelfrüh z Německa. Pěstování pokračovalo, když byla míra nákazy nízká, jedinou ochranou byly izolace a přísná rostlinolékařská opatření. Nicméně, toto onemocnění je endemické v půdě, jedinou možností je vyšlechtit odrůdy odolné. Naštěstí, divoké chmely z USA, přinesené Dr. Salmonem, jsou rezistentní proti verticiliovému vadnutí. Dopis od Dr. Salmona lokálnímu pěstiteli dokazuje, že odrůdy derivované od samčích rostlin z USA jsou používány k opylování na chmelnicích v Kentu kolem roku 1911, tento pěstitel zaznamenal vznik zajímavého hybridu z odrůdy Bates Brewer. Byla vyčleněna malá oblast chmelnice, v Beltingu v Kentu, pod označením 1147. Tato chmelnice byla následně odkoupena pivovarem Whitebread, který zaznamenal katastrofální propuknutí verticiliového vadnutí ve 30. letech. Hybrid 1147 ukázal zjevnou imunitu a je nyní znám jako Whitebread Golding Variety („WGV“), je používán dodnes jako aromatická odrůda, odolná verticiliovému vadnutí, alternativně ke Goldingu (Neve 1991a).



Obrázek 10; chmel napadený verticiliovým vadnutím;
<https://www.britishhops.org.uk/pes-t-disease/>

Padlí chmelové, houbové onemocnění, bylo zaznamenáno na počátku 20. století jako jedno z prvních významných houbových onemocnění dnešního chmele. Do konce 90. let se vyskytovalo jen zřídka, a tudíž nezbudilo dostatečný tlak, aby vznikly šlechtitelské programy jinde než v Anglii. Mnoho divokých odrůd, které Dr. Salmon začlenil do svého šlechtitelského programu, zejména z Itálie a USA, si neslo rezistentní geny, dále provedl speciální studii této rezistence, kterou nazval „blister“. Rozpoznal rezistenci k padlí chmelovému ve dvou odrůdách, Pride of Kent a Early Choice. Ze sedmi genů rezistence, které se nachází v dnešním chmelu, je jich pět připisováno křížencům Dr. Salmona. Jeho nástupce, Ray A. Neve, započal skleníkový screening sazenic pro rezistenci a vyšlechtil všechny své odrůdy pro rezistenci. První rezistentní odrůda, kterou vyšlechtil, byla Wye Challenger (1971), nesla rezistenci typu „blister“ získanou z programu na Wye College. Nicméně po uvolnění do komerčního prodeje

ve východní Anglii, došlo k nakažení jiným virulentnějším kmenem chmelového padlí. Odrůda Wye Target (1972) je rezistentní díky jinému genu, R2 gen, a nedošlo tak k nakažení virulentním kmenem chmelového padlí. Wye Target zůstal plně imunním dalších 20 let. Tato odrůda byla také použita v programu Hüll jako zdroj rezistentních genů. Po introdukci Magnum (1993), která se ukázala jako velmi náchylná k padlí chmelovému, dostalo šlechtění pro rezistenci výrazně vyšší prioritu. Rezistentní gen R2, získaný z odrůdy Wye Target, byl inkorporován do odrůdy Merkur (2000) a Herkules (2005), zůstává stále efektivní v kontinentální Evropě, nikoliv však v Anglii (Lance 1838; Salmon 1920; Darby 2001, 2005; Neve 2012).

Šlechtění odolnosti vůči verticiliovému vadnutí a peronospoře chmelové bylo pospáno nejenom v kapitole šlechtění aromatických odrůd, ale i v kapitole šlechtění pro vysoký obsah pryskyřic. Screening a selekce semenáčků je nyní rutinní součástí několika pěstitelských programů. Rezistence k těmto chorobám je zabudována do všech nových odrůd. Nicméně, rezistence k verticiliovému vadnutí je v Anglii spojována s nízkými agronomickými a kvalitativními charakteristikami, což je limitujícím faktorem šlechtitelského programu na Wye College. Odrůda Wye Target nebyla příliš úspěšná v pěstitelských zkouškách, důvodem byla slabá schopnost šplhat po opoře a velmi malé šištice. Tato odrůda byla ale jedinou, která měla schopnost odolat virulentnějšímu kmeni verticiliového vadnutí z 70. let 20. století na území Weald v Kentu a v oblasti West Midland v 80. letech. I přes špatné agronomické vlastnosti se stala tato odrůda primární pěstovanou odrůdou v Anglii. Posléze byly vyšlechtěny odrůdy, Yeoman (1983), Phoenix (1996) a Pilgrim (2001), se zvýšenou rezistencí (Darby 2005).

3.5 Americké odrůdy

Největšími Americkými producenty chmele jsou státy na území pacifického severozápadu, stát Washington, Oregon a Idaho zastávají většinový objem produkce, následované novými produkčními oblastmi ve státech Michigan, Minnesota, New York a pokusným pěstováním na severovýchodě USA. Agronomické problémy, kterým čelí pěstitelé jsou: nízký výnos Evropských odrůd a kultivarů z USA vyšlechtěných před začátkem 21. století, dále houbové onemocnění verticiliové vadnutí, padlí chmelové, peronospora chmelová také napadení chmelovou mšicí nebo sviluškou chmelovou (Henning et al. 2018).

Na základě užití se dá chmel dělit na dvě kategorie, „aroma“ typ, odrůda s menším množstvím α -hořkých kyselin ale výrazným aroma, a na vysokoobsažné odrůdy s vysokým obsahem α -hořkých kyselin, ale nevýrazným nebo neurčitě chmelovým aroma. Jednotky pro uvádění obsahu α -hořkých kyselin se u samčích a samičích druhů liší pouze na základě převahy lupulinových žláz v samičích květech ve srovnání se samčími květy. Obsah α -hořkých kyselin v samičích rostlinách je uváděno v poměru hmotnosti α -hořkých kyselin na jednotku hmotnosti usušené hmoty šištic, tato hodnota se pohybuje v rozmezí od 2,0 do 18,0 (w/w). u samčích rostlin je tato hodnota udávána jako poměr mezi objemem α -hořkých kyselin a celkovým objemem hořkých kyselin (v/v), rozmezí pro tuto jednotku je 20,0-65,0 (Henning et al. 2018).

Většina odrůd klasifikovaných jako vysokoobsažné odrůdy (průměrný objem α -hořkých kyselin větší než 15 % v/v celkových hořkých kyselin) je privátně vlastněná, patentovaná. Jediná veřejná odrůda z této kategorie je odrůda Nugget, další tři odrůdové linie jsou soukromé, ale nepatentované - Columbus, Tomahawk a Zeus. The USDA-ARS (Ministerstvo zemědělství Spojených států amerických - Zemědělský výzkumný ústav) uvedla na trh linie zárodečné plasmy číslo USDA 212742M v roce 2009 jako šlechtitelský materiál pro šlechtění vysokoobsažné odrůdy s objemem α -hořkých kyselin přesahujícím 18 % (v/v). Tato linie nedosáhla dostatečných výnosů a z tohoto důvodu nebyla komerčně úspěšná. Stále však zůstává potřeba veřejných vysokoobsažných odrůd s vysokým výnosem. Tato potřeba se stala ještě urgentnější po objevení susceptibility odrůdy Nugget ke všem kmenům verticiliového vadnutí a chmelovému padlí vyskytujícím se na pacifickém severozápadě (Henning et al. 2018).

3.5.1 Úvod do Amerických odrůd

Z pohledu moderních pivovarů i znalců piva je chmel zásadní komponentou, která dělá z piva „pivo“. Ačkoli přesný rok není známý, první evropské záznamy o používání divokého chmele jsou z 8. až 9. století. V období mezi roky 2006-2016, byl zaznamenán nárůst v oblasti Amerického řemeslného pivovarnictví až o 273 %. Zároveň bylo založeno obrovské množství mikropivovarů, mezi roky 2006-2016 vzrostl jejich počet z 370 na 3132. V roce 2016 bylo ve všech pivovarech v USA použito 2,2 milionu liber (997,9 tun) sušeného chmele (Cortez 2017). Na východě Spojených států, kde se chmel v minulém století nepěstoval, může být přístup k čerstvému chmelu nebo specifickým odrůdám limitujícím faktorem pro pivovary. K uspokojení této potřeby, chmelaři či dokonce samy pivovary, zakládají vlastní chmelnice,

aby snížili pořizovací náklady, zajistili si speciální odrůdy, které zaručují jimi požadované aroma a hořkost. Nicméně samotné pěstování chmele není jednoduchou záležitostí, stejně tak hledání těchto zajímavých odrůd, které jsou schopny růst v této oblasti a dodávají požadované aroma a hořkost. Chmel je od pěstování na chmelnicích přes výrobu piva, až po prostředky proti škůdcům, velice náročnou plodinou (Kopp 2014; Cortez 2017; Teghtmeyer 2018).

3.5.2 Historie pěstování

Pro vaření piva byly historicky používány šišťice divokých chmelů. Rozdíly v aroma, obsahu pryskyřic a rezistence vůči nemocem byly identifikovány kolem poloviny 18. století. Se šlechtěním odrůd začal v roce 1908 ve Velké Británii Dr. E. S. Salmon na Wye College v Kentu. Spolu se svým týmem vyvinul přes 800 nových odrůd s vylepšeným složením pryskyřic, rezistencí k nemocem a kvalitou šištic. Mezi těmito odrůdami jsou výjimečné odrůdy jako Brewer's Gold a Northern Brewer, které se posléze staly hlavními rodičovskými šlechtitelskými odrůdami (Darby 2005; Teghtmeyer 2018).

Chmel byl do Ameriky dovezen spolu s prvními osadníky a z počátku každá usedlost a místní pivovar měl vlastní chmelnice, na kterých pěstoval odrůdy, na které byli zvyklí. Komerční pěstování chmele v USA bylo založeno začátkem 19. století, do začátku století 20. bylo východní pobřeží a horní část Středozápadu „horkou“ oblastí pro pěstování chmele, jak pro lokální spotřebu, tak pro export do zámoří. Nicméně v polovině 19. století došlo k poklesu produkce chmele, důvodem byl odchod mužů do Občanské války (válka Severu proti Jihu), následovaný rostoucím počtem epidemií chorob a decimací úrody hmyzem. Produkce byla přesunuta na pacifický severozápad, kde bylo klima pro pěstování chmele přívětivější, zejména v aridním Yakima Valley ve státě Washington. V sušším podnebí se houbovým chorobám, jako jsou verticiliové vadnutí a chmelové padlí, nedaří. Počátkem 20. století se státy Washington, Oregon a Idaho staly předními producenty chmele v USA, toto postavení drží dodnes (Tomlan 2013; Teghtmeyer 2018).

Šlechtitelské programy v USA odstartoval konec první Světové války a zrušení prohibice. Prvním problémem byla masivní infestace verticiliovým vadnutím, které zdecimovalo chmelnice po celém světě. Agronomická experimentální stanice The USDA v Corvallis v Oregonu založila chmelnice na pěstování a šlechtění chmele v roce 1930 (funkční dodnes). Dnešním záměrem šlechtitelských programů je získat odrůdy s požadovanými kvalitami místních pěstitelů a pivovarů. Tyto kvality zahrnují: zvýšený obsah hořkých látek, specifických aromatických olejů, zvýšenou odolnost proti nemocem nebo škůdcům (Darby 2005; Teghtmeyer 2018).

3.5.3 Pěstební podmínky a sklizeň

Komerční pěstování chmele vyžaduje detailní plánování, dlouho před první sadbou. Budoucí pěstební plochy potřebují kvalitní půdu, zavlažovací systém a prostor. Chmel obvykle šplhá po dalších rostlinách či stavbách v dosahu, a to pro získání výšky a s tím souvisejícím větším množstvím slunečního světla. Stejně jako pro vinnou révu na vinicích, i pro chmel jsou stavěny konstrukce, protože je nutné dát chmelu podpěru, po které se může pnout. Historicky

byl chmel sklizen ručně, proto byly dříve konstrukce nižší ale rozlehlejší, nyní díky mechanizaci je možné tyto konstrukce vystavět do větší výšky, 18-21 stop vysoké (5,5-6,4 m) (McGinnis 2008; Serrine et al. 2010; Teghtmeyer 2018).

Každá odrůda chmele má minimální požadovaný počet hodin denního světla potřebných k plnému dozrání chmelových šištic, tento počet se odvíjí od genofondu po rodičích. Je nutno zvolit odrůdu poplatnou místní poptávce, chmel je rostlina víceletá, potřebuje minimálně dva roky k dosažení plné plodnosti, nelze ji tedy ihned vyměnit za jinou odrůdu. Z těchto důvodů vyplývá nutnost diverzifikace pěstovaného chmele. Po výběru vhodných odrůd jsou navrženy konstrukce, jejich uspořádání a výšky se řídí pěstitelskými potřebami těchto odrůd (Darby 2005; Teghtmeyer 2018).

K založení nové chmelnice se primárně používají oddenky nebo zakořeněné stonkové řízky. Z tohoto důvodu se v běžné pěstitelské praxi nepoužívají semena, nemají potvrzený genofond a není jisté, zda se uchytí. První roky rostou hlavně oddenky s kořenovým systémem, a kvůli tomu je výnos šištic velice nízký. Cyklus růstu, prořezávání a trénování k pnutí po chmelovodiči pokračuje do dostatečného vyvinutí kořenového systému (babky), poté je možné z lián sklízet první šišťice (Serrine et al. 2010; Teghtmeyer 2018).

Chmel je sklizen v rozmezí 5-10 dní v plné technologické zralosti. Chmelové liány jsou tradičně uříznuty několik stop (1,5-2 m) nad zemí a odtrhnuty od vodícího drátku, posléze jsou transportovány k dalšímu zpracování. Dojde k ořezání na česače, následuje odstranění listů a sušení, po usušení jsou chmelové šišťice ponechány, aby došlo k jejich vychladnutí a vyrovnání vnitřní vlhkosti a relativní vlhkosti vzduchu. Tento proces zajišťuje uchování nejvyšší možné kvality a čerstvosti chmele, usušený chmel je buďto přímo lisován do žoků (jutový pytel o rozměrech 100/150 cm, hmotnost 60-80 kg), nebo dále zpracováván do pelet. Chmel může být přidán do chmelovaru v čerstvém, usušeném stavu, jako pelety nebo extrakty. Podle ročního období a možnosti získat čerstvý chmel, může pivovar použít kombinaci těchto metod (Davis et al. 1991; Acitelli & Magee 2017).

3.5.4 Použití chmele

Ne všechen chmel je pěstován pro produkci piva. Chmel je také šlechtěn pro použití v čaji. Odrůdy s nízkým obsahem α -hořkých kyselin jsou zajímavou komoditou pro trh s bylinnými čaji, mají antifungální účinky a schopnost mírnit záněty. Další možností je využití v krmivu hospodářských zvířat a drůbeže jako fungicid. Přidání chutného chmele s nižším obsahem hořkých kyselin do krmiva pro hospodářská zvířata může potenciálně snížit množství nebo potřebu medikace zvířat antibiotiky. Další bioaktivní látky a sloučeniny ve chmelu jsou dnes zkoumány pro potenciální zdravotní a léčebné účinky, mimo jiné jako protizánětlivé a protinádorové látky, schopnost zvyšovat funkci inzulínových signálních drah a potenciálně zmírňující příznaky menopauzy (Chadwick et al. 2006; McGinnis 2008; Bland et al. 2015; Bedini et al. 2016).

Na druhou stranu se zkoumají éterické oleje obsažené ve chmelu jako ekologické a nákladově efektivní pesticidy a repelenty. ve své studii (Bedini et al. 2015) analyzovali použitý chmel jako zdroj silic, které by se daly použít jako repelent zaměřený na škůdce skladovaného obilí, *Rhizopertha dominica* a *Sitophilus granarius*, a výsledky byly povzbudivé ve dvou rovinách. Zaprvé, byly použity hrubé a jemné kaly zůstávající z chmele po chmelovaru, tyto kaly jsou považovány za odpadní materiál a v pivovarském průmyslu nemají další využití. Zjistili, že i když jsou využity hrubé a jemné chmelové kaly, lze je dále destilovat (proces zvaný hydrodestilace) a stále produkují srovnatelné nebo vyšší množství silic, než jiné zavedené a významné aromatické rostliny, jako je šalvěj a rozmarýn. Za druhé, silice v extrahovaných množstvích měly uspokojivé výsledky při odpuzování cílového hmyzu. Další studie (Bedini et al. 2016) podporují důkazy o tom, že silice z chmele jsou slibnými insekticidy a moluskocidy proti dalším škůdcům v potravinářství, komárům a plžům (Bedini et al. 2016; Aydin et al. 2017; Reher et al. 2019).

3.5.5 Šlechtitelské programy v USA

3.5.5.1 Oregonská státní Univerzita (OSU)

Šlechtění chmele na OSU

Koncem 19. století se Oregonská státní univerzita stala jedním z prvních vzdělávacích center, která se zabývala výzkumem chmele pro pacifický severozápad. Šlechtění chmele za účelem prevence chorob a zvýšení produkce lupulinu začalo ve 30. letech 20. století a pokračuje dodnes. V roce 2010 zahájila OSU program šlechtění aromatických odrůd chmele, jehož cílem je zkoumat a vyvíjet odrůdy chmele se specifickými aromatickými vlastnostmi pro oblast pacifického severozápadu (Teghtmeyer 2018).

Oregonské archivy chmelařství a pivovarnictví (OHBA)

Ve Výzkumném centru speciálních sbírek a archivů v knihovnách OSU sídlí OHBA, které shromažďuje obrovské množství informací o historii a vývoji chmele a pivovarnictví v Oregonu a na pacifickém severozápadě. Z hlediska chmelu jsou důležité četné historické zprávy, rozšiřující publikace, regionální obchodní a organizační záznamy atd., které byly shromážděny, uspořádány a zpřístupněny návštěvníkům z řad vědců. Některé materiály, včetně výzkumných zpráv OSU Hops Research Reports, 1956-1995, byly digitalizovány a zpřístupněny prostřednictvím jejich online průvodce (Teghtmeyer 2018).

3.5.5.2 Washingtonská státní Univerzita (WSU)

Chmel pacifického severozápadu

Údolí Yakima ve Washingtonu bylo objeveno v 70. letech 19. století jako výborná lokace pro pěstování chmele. Klima v této oblasti je nehostinné pro většinu škůdců a nemocí, kteří napadají chmel na východě USA. Dnes je stát Washington jeden ze tří největších producentů chmele v USA. WSU hostí program Pacific Northwest Hops, který koordinuje úsilí USDA-ARS s pozemními univerzitami ve Washingtonu, Oregonu a Idahu s cílem posílit pěstování, produkci a celkově chmelařský průmysl v tomto regionu (Teghtmeyer 2018).

Národní síť čistých rostlin (NPCN)

NPCN je rozšířením programu WSU v Prosser, Washington. Tento program je dobrovolným sdružením sítí pěstitelů speciálních plodin, kteří se spojili s cílem podporovat používání testovaného zdravého rostlinného materiálu bez patogenů pro potravinářské plodiny ve Spojených státech. Od svého založení, v roce 1964, má na svém kontě přes 30 certifikovaných odrůd, určených k použití šlechtiteli i pěstiteli chmele. Také má povolení k importu zahraničních odrůd pro účely testování a eventuálního začlenění mezi zdravé odrůdy vhodné pro domácí trh (Teghtmeyer 2018).

3.5.5.3 Další státy

rozšíření Michiganské státní univerzity (MSUE)- chmel

V mnoha státech se Cooperative Extension ujímá vedení v pomoci domácím pěstitelům a malým podnikům, kteří se pouštějí do této alternativní plodiny a rostoucího oboru. Jedním z příkladů je MSUE, která spravuje rozsáhlé webové stránky s odkazy na výzkum a aplikovanou dokumentaci založenou na nejnovějších poznatcích v roce 2018. Mezi nejnovější publikace patří Sustainable Hop Production in the Great Lakes Region (Sirrione et al. 2010) a Estimated Costs of Producing Hops in Michigan. Pedagogové MSU Extension také koordinují svou činnost s místními pěstiteli a podnikateli a každoročně pořádají semináře o zakládání a provozu chmelnic (Teghtmeyer 2018).

Severozápadní tým pro pěstování plodin a půdu Vermontské univerzity – chmel

Tento tým se zabývá osvětou a aplikovaným výzkumem v oblasti chmele. Na jejich stránkách jsou k dispozici odrůdové pokusy, doporučení k těmto odrůdám, dále informace o možnostech ochrany proti škůdcům a také dokumenty o sklizni a sušení chmele (dokonce i plány na stavbu chmelnice nebo sušárny chmele) (Teghtmeyer 2018).

3.5.5.4 Informace poskytované vládou Spojených Států

Národní úřad agronomické statistiky (NASS)

USDA's National Agricultural Statistical Service poskytuje informace o produkci, prodeji a sklizni chmele ve Spojených státech na národní úrovni i v jednotlivých státech. Jedná se o státy Washington, Oregon, Kalifornie a Idaho, ale také Michigan, Maine, Maryland, Massachusetts, Montana, Nebraska, Nové Mexiko, New York, Severní Karolína, Pensylvánie, Illinois, Indiana, Kentucky, Virginie, Vermont, Wisconsin a Colorado. Údaje na úrovni okresů jsou k dispozici pro některé, ale ne pro všechny státy, a ne pro všechny roky. Například údaje na úrovni okresů jsou k dispozici pouze za rok 2012. Údaje z „průzkumu“ zahrnují sklizené plochy, ceny, produkci a výnosy a jsou k dispozici za rok 2017 zpětně pouze za stát Washington, Oregon, Idaho a na celostátní úrovni (Teghtmeyer 2018).

4 Technologické využití

4.1 Farmacie

4.1.1 Homeopatie

Chmel otáčivý byl užíván v lidové medicíně od prehistorických časů. Je mnoho záznamů o užívání chmele k barvení vlasů, čištění krve od nečistot, přípravě látek a papíru, jako balicí materiál a „odhánění zlých duchů“ (Korpelainen & Pietiläinen 2021).

Další možná využití byla léčba lepry, bolesti zubů, horečky, zažívacích obtíží a úzkostných stavů. Také se používal jako konzervant, deodorant a krmivo pro dobytek. Sedativní vlastnosti chmele byly známy od počátku pěstování, protože způsoboval sběračům stavy extrémní únavy. Chmelové hlávky byly dlouho užívány jako sedativum a výluhy byly užívány k usnadnění usínání. Další způsob používaný v homeopatii bylo naplnění polštáře chmelovými hlávkami. Před použitím byl takto naplněný polštář nahřát, což bylo možné opakovat až třikrát, než ztratil účinnost (Zanoli & Zavatti 2008; Korpelainen & Pietiläinen 2021).

4.1.2 Rozsah užití

Německá komise a Evropská Vědecká Spolupráce pro phytoterapii schválila chmel k léčbě neklidu, úzkosti a nespavosti. Slibné zdravotní benefity byly pozorovány u chmelových terpenofenolů (hořké kyseliny, prenylchalkony a prenylflavonoidy). Dokáží předcházet rozvoji metabolického syndromu, několika typům rakoviny, zpomalit přibírání na váze, snížit inzulinovou resistenci a pomoci ulevit od symptomů menopauzy (Gerhäuser 2005; Zanoli & Zavatti 2008; Astray et al. 2020).

Nejdůležitějším prenylflavanoidem je xantohumolen, který dokáže předcházet tepenné i žilní trombóze, pomocí inhibice srážení krevních destiček, aniž by došlo k narušení srážlivosti krve a obecně s minimálními vedlejšími účinky. Xantohumolen je efektivní antioxidant a má protizánětlivé účinky. Dále studie ukazují (Philips et al. 2017), že xantohumolen inhibuje proteolytické enzymy a stimuluje fibrilární kolagen (Korpelainen & Pietiläinen 2021).

Hořké chmelové kyseliny mají antimikrobiální efekt a vykazují potenciál v léčbě diabetu. Humulon a Lupulin (součást chmelových pryskyřic) inhibují kostní resorpci a mohou být v budoucnu součástí léčby osteoporózy (Gerhäuser 2005; Xin et al. 2017; Wendakoon et al. 2018; Bolton et al. 2019).

Ve chmelu byl dále nalezen prekurzor vitamínu D2 (ergosterol a provitamin D2) a samotný vitamin D2 (ergokalciferol), které jsou v lidské stravě v omezené míře. Chmelové kaly, které jsou zbytkem chmelové hmoty po chmelovaru, se dají dále využít na výrobu pektinů. Konzistence tohoto pektinu je velice podobná pektinům vyrobeným z jablek nebo citrusů. Nedá

se však využít rovnou, je nutné nejdříve provést rafinaci, enzymaticky odstranit acetylové skupiny a neutrální cukry (Magalhães et al. 2009).

4.1.3 Protinádorové vlastnosti

Extrakty z chmele, ale i jen jednotlivé složky extraktů vykazují přímý inhibiční efekt proti karcinogenům díky regulaci různých biochemických drah rakovinných buněk v různých fázích jejich vývoje. Byly provedeny mnohé *in vitro* i *in vivo* studie, které ukázaly inhibiční vlastnosti chmelových extraktů na několik typů rakoviny, jako je rakovina tlustého střeva, kůže a kostí, dále myeloidní a monoblastickou (lymfatickou) leukémií. Tyto extrakty jsou také schopny pozastavit až zvrátit děje spojované s přeměnou buněk na jejich rakovinou formu. Mezi tyto děje patří, apoptóza, zvýšená aktivita extracelulárního matrixu, angiogeneze, snížená vitalita a oxidativním stresem způsobené poškození DNA, proteinů a tuků (Lee et al. 2007; Zanolli & Zavatti 2008; Akazawa et al. 2012; Philips et al. 2017; Bolton et al. 2019).

Humulon je spojován se schopností zastavit množení rakovinných buněk u myši. Dále lupulin je schopen nabudit apoptózu v buňkách rakoviny prostaty (*carcinoma prostates*) a tlustého střeva (*carcinoma colon*) u laboratorních krys. Také bylo zjištěno, že lupulin je schopen nabudit apoptózu v mutujících rakovinných buňkách a také, že extrakty a jeho komponenty (xantohumolen, isoxantohumolen a hořké kyseliny) mají přímé antioxidační a inhibiční působení na buňky melanomu v *in vitro* pokusech (Korpelainen & Pietiläinen 2021).

Jediným zdrojem iso- α -hořkých kyselin v lidské potravě je momentálně pivo, naneštěstí většina benefičních látek je zastoupena v minimálním množství, například u iso- α -hořké kyseliny, z důvodu tepelné nestability dojde k rozpadu nebo oddestilaci při chmelovaru. (Mahli et al. 2018) vypočítal že, k dosažení požadovaného efektu by bylo třeba vypít až 100 l piva. Řešením by mohlo být pivo obohacené o chmelové extrakty, primárně xantohumolen. Ovšem vyvstává problém toxicity alkoholu, jehož zvýšená konzumace může způsobovat několik typů rakoviny a jiných onemocnění. Patří mezi ně: rakovina trávicího traktu (*carcinoma gastrointestinalis*), jater (*carcinoma hepatis*), slinivky břišní (*carcinoma pancreatis*) a u žen rakovina prsu (*carcinoma mammae*), dále jícnové varixy (*varices oesophagi*), žaludeční vředy (*ulcus gastrii*), cirhóza jater (*cirrhosis hepatis*), hepatorenální syndrom, gynekomastie, hypertenze, impotence a srdeční choroby (*morbis cardiovascularis*) (Gerhäuser 2005; Lamy et al. 2007; Lee et al. 2007; Philips et al. 2017; Yan et al. 2019; González-Salitre et al. 2023).

4.1.4 Hormonální substituční léčba

Phytoestrogen získává v posledních letech na oblibě, jako alternativa k léčbě symptomů spojených s menopauzou. Snížování hladiny estrogenu v období menopauzy má mnoho efektů na ženské tělo, k nejvýznamnějším patří přibírání na váze, zvýšený viscerální tuk a zvýšená náchylnost k metabolickému syndromu (cirhóza jater nezpůsobená alkoholem). Chmel se dostal do hledáčku díky svým bioaktivním látkám s estrogením efektem. Extrakty z chmelu mohou být užitečné v léčení hromadění triacylglycerolu v játrech spojeným s menopauzou, viscerální adipozitu a přibývání na váze prostřednictvím modulace metabolismu lipidů a zánětlivých cytokinů (Gerhäuser 2005; Tronina et al. 2020).

Z rozborů vyplývá že, chmelové extrakty obsahují prekurzory phytoestrogenů (flavanoidy, zvláště xantohumolen a isoxantohumolen), které je možné převést do estrogenové formy (8-prenylnaringenin). Tuto přeměnu je schopna provést střevní mikroflóra nebo jaterní enzym cytochrom P450. Chmelové bioaktivní složky vykazují pomalou absorpci střevní stěnou a také tendenci vstupovat do enterohepatitického okruhu. Estrogenní působení xantohumolenu a isoxantohumolenu jsou malé až nevýznamné, ale jejich derivát, dimetylovaný 8-prenylnaringenin, vykazuje největší phytoestrogenický potenciál z rostlinné říše. Testy na zvířatech prokázaly estrogenní působení na savcích, z čehož se usuzuje možný pozitivní vliv na lidech při projevech symptomů menopauzy. Chmelové extrakty vykazují schopnost ulevovat od některých vasomotorických projevů, jako jsou návaly horka, nespavost a výkyvy nálad. Navíc pomáhají chránit kostní hmotu, díky své schopnosti napodobit estrogen (Zanoli & Zavatti 2008; Erkkola et al. 2010; Almaguer et al. 2014; Bolton et al. 2019; Hamm et al. 2019).

4.1.5 Antimikrobiální vlastnosti

Vzhledem k narůstající antibiotické resistenci jsou hledány další možné látky jako jejich možná náhrada. Vzhledem k antimikrobiálnímu potenciálu chmelu, který je díky lidové medicíně dlouho znám, se chmel dostal do pole zájmu jako možná fytoterapeutická náhrada antibiotik. Několik studií ukázalo, že chmelové extrakty mohou interferovat a inhibovat růst bakterií, plísní, protozoí a působit také jako antivirotikum. Nejvýznamnější biochemická cesta je spojena s jejich působením na cytoplazmatickou membránu mikroorganismu. Zvláště účinné jsou chmelové terpenofenoly (Srinivasan et al. 2004; Ban et al. 2018; Şener 2020).

Hořké kyseliny (primárně α - a β -hořké kyseliny) narušují permeabilitu cytoplazmatické membrány u mikrobiálních buněk. Tohoto antimikrobiálního efektu lze využít k inhibici gram-pozitivních bakterií. α -hořké kyseliny izomerované do formy iso- α -hořké kyseliny jsou schopny inhibice těchto gram-pozitivních bakterií, například *Propionibacterium acnes*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermitis*, *Bacillus anthracis*, *Bacillus subtilis*, *Corynebacterium diphtheriae*, *Sarcina lutea*, *Streptococcus faecalis* a *Lactobacillus brevis*. Dále, růst některých druhů, jako jsou *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Streptomyces*, *Listeria* a *Clostridium* je inhibován chmelovými extrakty. β -hořké kyseliny jsou účinné především díky hydrofobnímu charakteru, z něhož vyplývá schopnost narušovat strukturu bakteriální stěny, především u gram-negativních bakterií. Účinnější inhibice lze dosáhnout pomocí chmelových extraktů než běžnou ústní vodou, u těchto druhů: *Streptococcus mutans*, který způsobuje zubní kazy, dále *Streptococcus sanguinis* a *Streptococcus salivaris*. Hořká chuť β -hořkých kyselin, nízké pH a nutnost rozpouštění v etanolu, jsou hlavními důvody, které brání komerčnímu rozšíření (Bhattacharya et al. 2003; Yamaguchi et al. 2009; Čermák et al. 2015; Weber et al. 2019).

Mezi terpenofenoly, jako jsou β -hořké kyseliny a iso- α -hořké kyseliny, xantohumolen vykazuje největší potenciální letální působení proti protozoa *Plasmodium falciparum*, které způsobuje malárii. Dále se α -hořké kyseliny, β -hořké kyseliny, xantohumoleny, dají použít k inhibici methicillin rezistentního *Staphylococcus aureus*, i v biofilmu. α -hořké kyseliny, β -hořké kyseliny a xantohumoleny lze také využít pro léčbu akné, způsobené *Propionibacterium*

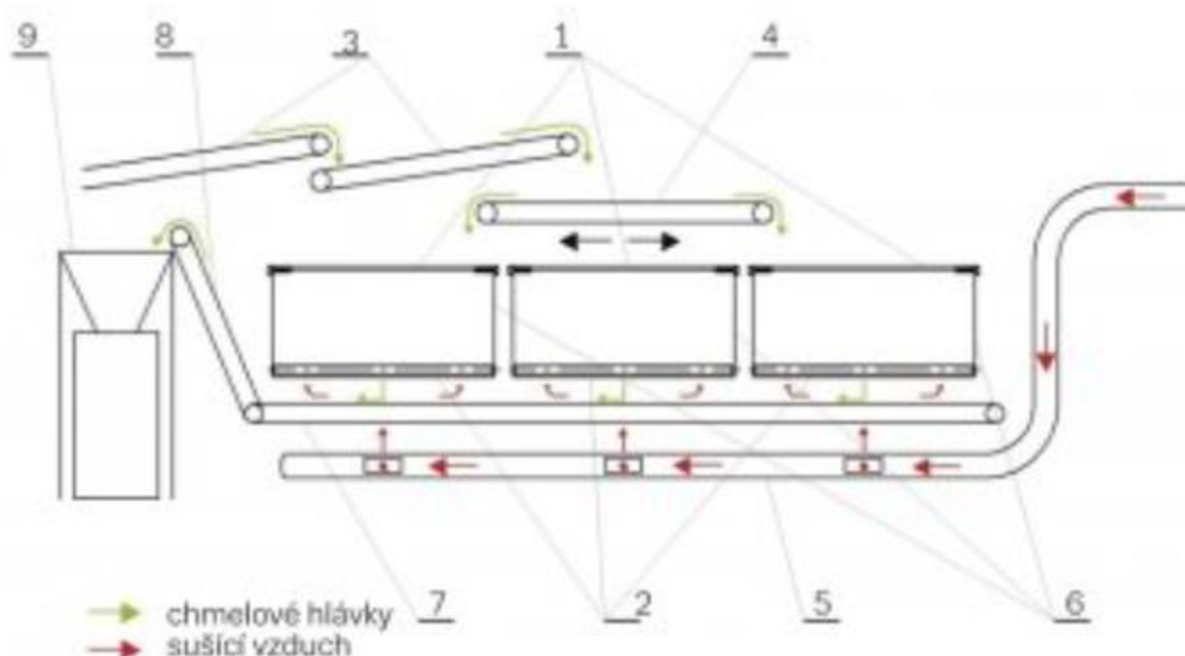
acnes a *Staphylococcus aureus* (Stavri et al. 2004; Gerhäuser 2005; Čermák et al. 2015; Wendakoon et al. 2018; Bogdanova et al. 2018).

5 Pivovarnictví

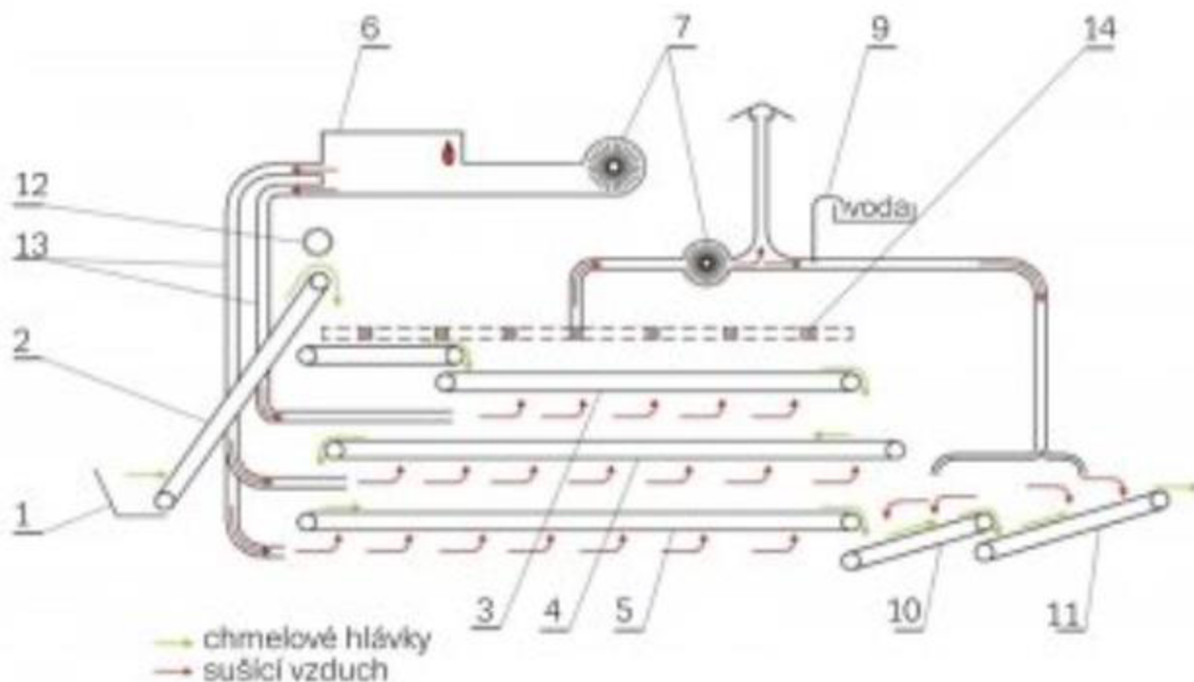
5.1 Posklizňové úpravy chmele

Chmel se sklízí koncem srpna během 10–12 dní, kdy dosahuje své technologické zralosti. Chmelové hlávky musejí být ihned po sklizni sušeny, jinak může vlivem mikrobiální nákazy a napadením škůdci dojít k poklesu jejich kvality. Sušení probíhá v komorových sušárnách (Obrázek 11), případně modernějších pásových sušárnách (Obrázek 12) (Kořen 2008a, 2008b).

V pásových sušárnách se chmel suší v 20 cm vrstvě po dobu 5 až 8 hodin teplým vzduchem, přičemž teplota pod spodní žaluzii nesmí přesáhnout 50 °C. Při sušení dojde ke snížení obsahu vody v chmelových hlávkách z 72–82 % až na 8 %, následné skladování dovolí vyrovnání vlhkosti na cca 11 %. V komorových sušárnách dochází k sušení na žaluziích situovaných ve vertikální nebo horizontální rovině, ve vrstvě 25–30 cm. Žaluzie mají minimální rozestupy 80 cm. Sušený chmel se pohybuje proti směru sušícího vzduchu, tento vzduch má teplotu 54–55 °C, při vyšší vlhkosti hlávek až 60 °C. Nejteplejší vzduch je přiváděn do nejvíce prosušené vrstvy, jejím dalším sušením přebíral uvolněnou vlhkost, tím se částečně ochladil a vstoupil do vrstvy méně proschlé. Protože měl vzduch stále dostatečnou teplotu, a ne příliš vysokou relativní vlhkost, pohltil uvolněnou vlhkost i z této vrstvy a postup se v případě více žaluzií v sušárně opakoval. Sušení probíhá od 300 do 600 minut. Vlhkost hlávek po usušení je v rozmezí 6–8 %. Následuje třídění, lisování do žoků a odeslání k dalšímu zpracování, nebo koncovým zákazníkům (Čepička 1993; Basařová et al. 2010).



Obrázek 11; technologické schéma komorové sušárny chmele 1) sušící komora, 2) sušící síťové dopravníky, 3) pásové dopravníky, 4) posuvný pásový dopravník, 5) rozvod sušícího vzduchu, 6) přední čela sušících komor, 7) příčný pásový dopravník, 8) vynášecí kapsový dopravník, 9) hranolový lis; <https://www.agrojournal.cz/clanky/vyrobní-technologie-a-mechanizace-při-pestování-a-sklizni-chmele-212>

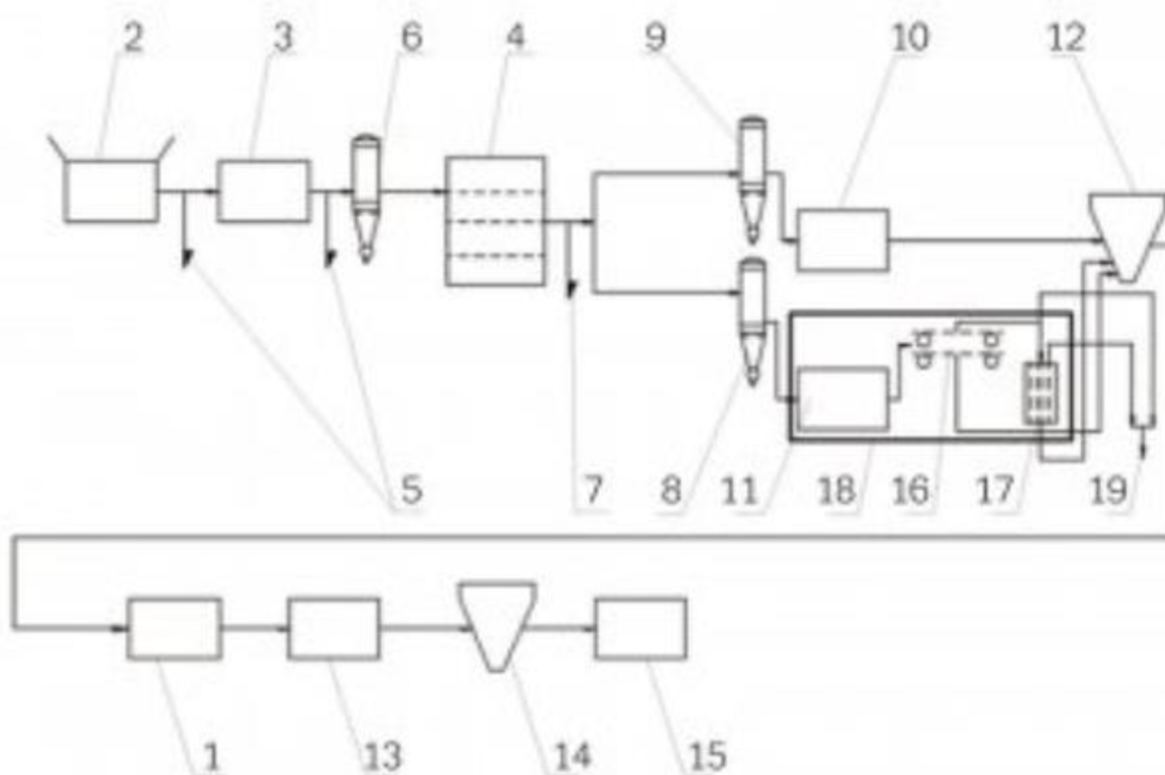


Obrázek 12; technologické schéma pásové sušárny chmele PCHB-750 1) násypka, 2) šikmý síťový dopravník, 3, 4, 5) horní, prostřední, spodní sušící síťový dopravník, 6) teplovzdušný agregát, 7, 8) ventilátor, 9) vodní hospodářství, 10, 11) první, druhý síťový dopravník klimatizační komory, 12) rovnací válec, 13) rozvodné vzduchové potrubí, 14) odsávací otvory; <https://www.agrojournal.cz/clanky/vyrobni-technologie-a-mechanizace-pri-pestovani-a-sklizni-chmele-212>

5.2 Upravené chmelové výrobky

5.2.1 Výrobky připravené mechanickými úpravami hlávkového chmele

Mleté a granulované chmele (Obrázek 13), bez nebo se standardizací obsahu α -hořkých kyselin. Nejznámější a nejpoužívanější jsou chmelové granulace/pelety různého typu. Ze všech chmelových výrobků jsou nejbližší původnímu charakteru nezpracovaného chmelu (Čepička 1993; Kosař 2000; Mikyška et al. 2012).



Obrázek 13; technologické schéma zpracovatelské linky chmele 1) granulátor, 2) vysypávací zařízení, 3) homogenizátor, 4) komorová sesypná sušárna, 5, 7) odlučovací botka, 6, 8, 9) cyklon, 10, 11) kladivkový mlýn, 12) balicí linka, 13) chladič, 14) zásobník granulí, 15) balicí linka, 16) rotační síta, 17) vibrační síta, 18) mrazicí komora, 19) odpad;
<https://www.agrojournall.cz/clanky/vyrobní-technologie-a-mechanizace-pri-pestovani-a-sklizni-chmele-212>

Granulované chmele nejvíce podobné původním hlávkám, jak chemickým složením, tak charakterem. Splňují podmínky německého zákona o čistotě piva (Reinheitsgeboten). Dnes jsou velice rozšířené pro používání ve výčepnách, ležáckých i speciálních pivech spodně i svrchně kvašených. Často jsou užívány v kombinaci s chmelovými extrakty. Rozlišujeme více druhů pelet podle úpravy na typ 100, 90, 45, 30, přičemž ze 100 kg chmele se vyrobí 90 kg, 45 kg, 30 kg granulí (Čepička 1993; Basařová et al. 2010).

Granulovaný chmel typ 100

Chmelové granule, též nazývané chmelové slisky, jsou připravené z přírodního sušeného chmele bez jakékoli úpravy pouze slisováním do velkých granulí. Rozměr granulí je volen tak, aby bylo umožněné jejich vložení do plnicího otvoru přepravního sudu. Používají se v zahraničí pro dosažení požadovaného chmelového aroma, zpravidla svrchně kvašených piv (Daněk et al. 1982; Čepička 1993; Basařová et al. 2010; Mikyška et al. 2012).

Granulovaný chmel typu 90

Chmelové pelety připravené z předsušeného a rozemletého hlávkového chmele po odstranění hrubších nečistot. Ze 100 kg zpracovávaného chmele se vyrobí zhruba 90 kg granulí. Chemickým složením i charakterem typ 90 téměř odpovídá původnímu chmelu, až na nepatrné změny vyvolané zvýšením teploty při tlakové granulaci. Výrobek bývá standardizován na obsah a-hořkých kyselin a dodáván v inertním obalu, čímž se docílí

dlouhodobé chemické stability (Daněk et al. 1982; Čepička 1993; Basařová et al. 2010; Míkyška et al. 2012).

Granulovaný chmel typu 45

Chmelové pelety připravené z předsušeného a rozemletého hlávkového chmele po odstranění hrubších nečistot a zkoncentrování důležitých složek flotací v plynné fázi při hlubokém podmrazení na teplotu $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ze 100 kg zpracovávaného chmele se vyrobí zhruba 45 kg granulí. Chemickým složením a charakterem odpovídá původnímu chmelu s přibližně dvojnásobnou koncentrací hořkých kyselin, pouze s nepatrnými změnami vyvolanými zvýšením teploty při tlakové granulaci (Daněk et al. 1982; Čepička 1993b; Basařová et al. 2010; Míkyška et al. 2012).

Granulovaný chmel typu 30

Granulované pelety připravené obdobnou technologií jako typ 45, ale s intenzivnějším stupněm koncentrace při flotaci. Dojde až ke trojnásobnému zkoncentrování hořkých kyselin a nepatrným změnám vyvolaným zvýšením teploty při tlakové granulaci (Daněk et al. 1982; Čepička 1993; Basařová et al. 2010; Míkyška et al. 2012).

Všechny typy mohou být standardizovány na obsah α -hořkých kyselin a jsou dodávány v inertním obalu pro zachování dlouhodobé chemické stability (Daněk et al. 1982).

5.2.2 Výrobky připravené fyzikálními úpravami hlávkového chmele

Chmelové extrakty jsou vyráběné extrakcí pomocí ekologicky nezávadných rozpouštědel, nejčastěji ethanol a oxid uhličitý. Chmelové extrakty jsou v současné době široce rozšířené pro výrobu téměř všech druhů piva. Původně vyráběné extrakty neekologickými rozpouštědly dichlormethanem a hexanem se již prakticky nevyrábějí a veškerá produkce je založena na extrakci ethanolem či oxidem uhličitým. ve srovnání s přírodním chmelem představují extrakty surovinu s vyšší koncentrací pivovarsky důležitých složek, především α -hořkých kyselin. Dalším typickým znakem chmelových extraktů je velmi nízký až nulový obsah polárních složek. Po chemické stránce se chmelové extrakty od původní suroviny liší hlavně téměř chybějící polární složkou. Jinak po stránce chemického složení nepolární složky je velice blízká chmelu upravenému mechanickými metodami. Dosud méně rozšířené je používání izolátů chmelových silic k úpravě chmelového aroma piva (Daněk et al. 1982; Basařová et al. 2010).

Ethanolové extrakty

Ethanolové extrakty se vyrábějí extrakcí hlávkového chmele 90% ethanolem, který je mírně polárním rozpouštědlem ekologicky a hygienicky nezávadným pro výrobu piva. Výsledný extrakt se rozděluje na polární, tříslovinový extrakt (vodní podíl) a na nepolární pryskyřičný extrakt. Na trh přichází čistý pryskyřičný extrakt, nebo na zvláštní přání zákazníka se dodává směs pryskyřičného a tříslovinového extraktu jako standardizovaný extrakt o určité koncentraci α -hořkých kyselin. Při extrakci dochází ve velmi malé míře k izomeraci pryskyřic, čímž se mírně mění chemické složení

výsledného extraktu oproti původní surovině. Obsah polárních složek závisí na typu extraktu, čistý pryskyřičný extrakt je prakticky neobsahuje. Hotový extrakt je vysoce homogenní s dlouhodobou trvanlivostí při skladování do 10 °C (Čepička 1993; Basařová et al. 2010; Sanz et al. 2019a).

CO₂ extrakty

CO₂ extrakty jsou vyráběné extrakcí granulovaného chmele vysoce nepolárním rozpouštědlem oxidem uhličitým v podkritickém nebo nadkritickém stavu, za vysokého tlaku a zvýšené teploty. Z charakteru rozpouštědla vyplývá, že extrakt obsahuje (převážně) nepolární složky výchozího chmele, tedy především hořké kyseliny a silice, dále v nepatrném množství nepolární rezidua postříkových látek. CO₂ extrakt prakticky neobsahuje polární složky chmele, jako polyfenoly a dusičnany. Podkritický extrakt se vyrábí za mírnějších podmínek, ale s nižší výtěžností, superkritický se vyrábí při vyšší teplotě a s vyšší výtěžností. Oba extrakty jsou prakticky čisté pryskyřičné extrakty, vysoce homogenní s dlouhodobou stabilitou chemického složení. Lze mísit s ethanolovým extraktem (Čepička 1993; Basařová et al. 2010; Sanz et al. 2019).

Preparáty chmelových silic se připravují z chmelových extraktů, nebo z extrakčních či destilačních izolátů chmelových silic. Dodávají se ve formě alkoholových roztoků, emulzí či prášků, v nichž jsou adsorbovány na silikagelu, a to jako celkové silice nebo různé aromatické frakce, jsou určeny k posílení chmelového aroma, zpravidla aplikací v konečných fázích výroby piva (Čepička 1993; Basařová et al. 2010; Sanz et al. 2019).

5.2.3 Výrobky připravené chemickými úpravami chmele

Dochází k extrakci požadovaných složek, jako jsou α -hořké kyseliny a následné izomeraci. Extrakci lze provést na celých chmelových šišticích, peletách nebo extraktech či vyluzích získaných fyzikálními metodami. Nízká účinnost využití přirozených složek chmele (přírodních α -hořkých kyselin) i jejich nízká stabilita vedly k vývoji chemicky upravených výrobků. Připravují se řízenou izomerací, redukcí a hydrogenací α -hořkých kyselin. Jejich používání je částečně omezeno technologickými a legislativními požadavky (Čepička 1993; Kosař 2000; Basařová et al. 2010; Sanz et al. 2019).

Izoextrakty jsou vyráběny nejčastěji z pryskyřičných extraktů. Izomerace se provádí v alkalickém prostředí za katalytického působení dvojmocných kationtů hořčíku. Během izomerace se většina α -hořkých kyselin přemění na iso- α -hořké kyseliny. Po jejich oddělení se hotový izoextrakt dodává ve formě surových hořkých kyselin, čistých hořkých kyselin nebo ve formě rozpustných solí. Izoextrakty jsou určeny jak pro aplikaci ve varně při zkráceném chmelovaru, tak pro studené chmelení piva. Svým charakterem představují surovinu, která může přírodní chmel nahrazovat pouze ve složce hořkosti, nikoli aroma či celkovém chmelovém charakteru. Z principu výroby vyplývá, že jejich použití je v řadě zemí legislativně omezeno (Čepička 1993; Kosař 2000; Basařová et al. 2010; Sanz et al. 2019).

Izopelety jsou vyráběny z granulovaných chmelových pelet. Technologie zahrnuje smísení granulovaného chmele s relativně vysokým podílem oxidu hořečnatého jako katalyzátoru. Zrání probíhá při zvýšené teplotě po dobu několika dní. Během tohoto procesu se část α -hořkých kyselin přemění na iso- α -hořké kyseliny. Hotové izopelety se po ochlazení balí do obdobných obalů jako granulovaný chmel. Izopelety jsou určeny k aplikaci ve varně, ale dosud nejsou příliš rozšířené, protože mají ještě omezenější využití než izoextrakty (Čepička 1993; Kosař 2000; Basařová et al. 2010; Sanz et al. 2019).

5.2.4 Redukované (hydrogenované) iso- α -hořké kyseliny

Vyrábějí se katalytickou chemickou redukcí surových nebo předčištěných iso- α -hořkých kyselin, v nichž se redukuje karbonylová skupina. Používají se výhradně k úpravě hořkosti (vykazují intenzivní hořkost, ale s částečně odlišným charakterem od hořkosti přírodních iso- α -hořkých kyselin). Na rozdíl od přírodních iso- α -hořkých kyselin jsou odolné proti letinkové (sluneční) příchuti. Dávkuje se do piva přímo (studené chmelené, po filtraci či pasteraci), neboť jsou dodávány v rozpustné formě. Chemické změny v molekule iso- α -hořkých kyselin navíc mění jejich vlastnosti tak, že aplikací se současně zlepšuje pěnivost a sensorická stabilita. Použití iso- α -hořkých kyselin je technologicky a legislativně omezeno podobně jako u izoextraktů (Čepička 1993; Kosař 2000; Basařová et al. 2010; Sanz et al. 2019).

V závislosti na síle hydrogenace se připravují:

- Dihydro-iso- α -hořké kyseliny
- Tetra-iso- α -hořké kyseliny – hydrogenované jsou i dvojně vazby postranních řetězců v molekule (tato molekula je také známá pod obchodním názvem tetrahop)
- Hexahydro-iso- α -hořké kyseliny – hydrogenované jsou všechny dvojně vazby v molekule
(Čepička 1993; Kosař 2000; Basařová et al. 2010; Sanz et al. 2019)

5.2.5 Syntetické hořké látky

V praxi byly odzkoušeny i některé syntetické hořké látky, jak na molekulárním principu přírodních chmelových hořkých látek, tak zcela odlišných struktur. Jejich rozšíření však brání vysoká cena preparátů, odlišný sensorický charakter, příliš limitované možnosti použití i různá legislativní omezení (Čepička 1993; Kosař 2000; Basařová et al. 2010; Sanz et al. 2019).

5.3 Skladba chmelových extraktivních látek v pivu

Profilování chuti piva na chemické úrovni je velice složité, hlavně kvůli rozmanitosti obsažených látek v pivu. Zastoupeny jsou skupiny uhlovodíků, proteinů, primárních a sekundárních metabolitů mikroorganismů, oxid siřičitý, alkoholy, primárně etanol. Nejzajímavější skupinou jsou iso- α -hořké kyseliny (IAA) a fenolické sloučeniny, které jsou přítomny v relativně nízkých koncentracích ale významně přispívají k chuťovému profilu piva a jeho stabilitě. Homology α -hořkých kyselin jsou kohumulen, n-humulen a adhumulen, které se liší jen v nasycenosti acylového postranního řetězce. Při chmelovaru dochází k izomeraci α -hořkých kyselin, na trans- a cis- stereoisomery iso- α -hořkých kyselin, jenž jsou isokohumulen, isohumulen a isoadhumulen. IAA přispívají k charakteristické hořkosti piva, cis- isomery jsou v tomto ohledu významnější než trans- isomery. Světelná stabilita může být vylepšena hydrogenací a redukcí IAA. Výsledkem této hydrogenace a redukce jsou tyto isomery: Dihydro-iso- α -hořká kyselina (také označována jako „rho“, [p]), tetrahydro-iso- α -hořká kyselina a Hexahydro-iso- α -hořká kyselina (RiAA, TiAA a HiAA, v tomto pořadí), liší se v počtu vodíkových atomů navázaných v průběhu redukce (Anderson et al. 2021).

Polyfenoly a fenolické kyseliny primárně pocházejí ze sladu a chmelu, přispívají k chuti, barvě, „tělu“ a koloidní stabilitě (zákalu) piva. Některé fenoly vytvářejí žádané, pro některé pivní styly charakteristické chutě, jako je hřebíček pro pivní styl Hefeweizen, jiné jsou zcela nežádoucí. Tyto pachutě a pachy jsou popisovány následovně: chuť plastiku, náplastí nebo zpoceně koňské deky. Fenoly přítomné v pivu obsahují skupiny fenolických kyselin, jednoduchých fenolů, flavanoidy, hydroxycumarinů, proantokyanidů a taninů neboli tříslovin (Anderson et al. 2021).

6 Závěr

Z výše uvedených faktů vyplívá, že chmel byl lidmi užíván a posléze i pěstován již tisíce let. První písemné záznamy o jeho pěstování jsou z 8.-9. století. Byl primárně používán v lidovém léčitelství a k ochucení uvařeného piva. V tomto ohledu jsou důležité mikrobistatické vlastnosti chmele. Důležitým milníkem v historii chmele byl rok 1669, kdy byly vytvořeny první záznamy o šlechtění chmele v Anglii. Odrůdy chmele byly šlechtěny z několika důvodů: aby bylo možné je pěstovat i jinde než na území, kde původně vznikly, pro vyšší obsah hořkých kyselin, pro vylepšení původního aroma a také pro rezistenci vůči chorobám či škůdcům. Jen do konce 18. století bylo v Evropě známo přes 80 odrůd. Významným výzkumníkem v oblasti šlechtění chmele byl Dr. Salmon z Wye College, v Kentu v Anglii. Choroby chmele byly primárním důvodem, který nutil šlechtitele k vývoji nových rezistentních odrůd. Dalším důležitým faktorem byla snaha získat odrůdy s vyšším obsahem hořkých kyselin. Tato nové odrůdy byly většinou kříženci evropských a amerických chmelů, americké divoké odrůdy měly vyšší rezistenci vůči chorobám vyskytujícím se v Evropě. Evropské odrůdy byly vyváženy do Ameriky pro své jedinečné aroma, které bylo velmi náročné vyšlechtit. Šlechtění aromatických odrůd nikdy nebylo tak úspěšné jako šlechtění odrůd s vysokým obsahem hořkých kyselin. Největším úspěchem při šlechtění aromatických odrůd bylo zvýšení výnosů a zakomponování rezistence.

Obrovským problémem pro pěstitele chmele byly houbové choroby. Na začátku 20. století propukla po celé Evropě epidemie verticiliového vadnutí, následovaly epidemie peronospory chmelové a na konci 20. století epidemie chmelové padlí a černé hniloby kořenů. Tyto epidemie devastovaly chmelnice a z počátku nebyl žádný vhodný způsob obrany. Posléze byly vyšlechtěny odrůdy rezistentní těmto chorobám. Ačkoli rezistence k houbovým chorobám je prevelentní v odrůdách z 20. století, žádné nejsou rezistentní vůči hmyzu. Významnými škůdci chmele jsou mšice chmelová a sviluška chmelová. Mírná rezistence vůči mšici chmelové byla zjištěna mezi odrůdami chmele z Německa a USA. Tato rezistence ale není natolik silná, aby nebylo třeba používat insekticidy. Sviluška chmelová je schopná sexuální reprodukce několikrát během vegetačního období, z tohoto důvodu není vyšlechtění rezistence proveditelným řešením.

V Americe byly budovány chmelnice s velkou rozlohou zajištěnou plnou mechanizací, v Evropě zůstávaly menší chmelnice farmového typu. Evropští pěstitelé byli proto nuceni snížit závislost na lidské práci. Výsledkem této snahy byly nové trpasličí odrůdy, tyto odrůdy rostou na chmelnic jako jeden neporušený keř, o výšce 2,3-3 metry. Tento systém je jednodušší a levnější na konstrukci, ovšem odrůdy vyšlechtěné pro klasické, vysoké chmelnice nejsou vhodné.

Historicky byl chmel používán čerstvý, případně docházelo k jeho sušení a následnému skladování v žocích na půdách. Dnes je valná většina chmele ihned po sklizni usušena a následně upravena do podoby pelet. Existují čtyři základní typy: granulovaný chmel typu 100, 90, 45 a 30. Tato čísla vyjadřují, kolik procent z původního chmele zůstalo v peletě. Čím menší

číslo, tím koncentrovanější extraktivní látky. Další možností jsou chmelové extrakty, na trhu jsou k dostání ethanolové a CO₂ extrakty.

Chmel není však jen surovinou nutnou pro výrobu piva, jeho extrakty jsou testovány jako možné náhrady léčiv. Německá komise E a Evropská Vědecká Spolupráce pro phytoterapii schválili chmel k léčbě neklidu, úzkosti a nespavosti. Byly provedeny mnohé *in vivo* a *in vitro* studie, které dokazují inhibiční vlastnosti chmelových extraktů vůči několika typům nádorového bujení a leukémii. Také byla dokázána schopnost zmírňovat projevy symptomů menopauzy. Antimikrobiální vlastnosti chmele byly známy již dlouhou dobu, nyní jsou chmelové extrakty testovány jako možná náhrada antibiotik, antimykotik a také antivirotik. Zajímavou vlastností je schopnost zastavit rozvoj malárie.

7 Literatura

- Acitelli T, Magee T. 2017. The audacity of hops: The history of America's craft beer revolution. Chicago Review Press.
- Akazawa H, Kohno H, Tokuda H, Suzuki N, Yasukawa K, Kimura Y, Manosroi A, Manosroi J, Akihisa T. 2012. Anti-inflammatory and anti-tumor-promoting effects of 5-deprenyllupulonol C and other compounds from hop (*Humulus lupulus* L.). *Chemistry and Biodiversity* **9**:1045–1054.
- Almaguer C, Schönberger C, Gastl M, Arendt EK, Becker T. 2014. *Humulus lupulus* - a story that begs to be told. A review. *Journal of the Institute of Brewing* **120**:289–314. John Wiley and Sons Inc.
- Alonso-Esteban JI, Pinela J, Barros L, Ćirić A, Soković M, Calhella RC, Torija-Isasa E, de Cortes Sánchez-Mata M, Ferreira ICFR. 2019. Phenolic composition and antioxidant, antimicrobial and cytotoxic properties of hop (*Humulus lupulus* L.) Seeds. *Industrial Crops and Products* **134**:154–159. Elsevier B.V.
- Amoriello T, Fiorentino S, Vecchiarelli V, Pagano M. 2020. Evaluation of spent grain biochar impact on hop (*Humulus lupulus* L.) growth by multivariate image analysis. *Applied Sciences (Switzerland)* **10**. MDPI AG.
- Anderson HE, Liden T, Berger BK, Schug KA. 2021. Target profiling of beer styles by their iso- α -acid and phenolic content using liquid chromatography–quadrupole time-of-flight–mass spectrometry. *Journal of Separation Science* **44**:2764–2772. John Wiley and Sons Inc.
- Astray G, Gullón P, Gullón B, Munekata PES, Lorenzo JM. 2020, August 1. *Humulus lupulus* L. as a natural source of functional biomolecules. MDPI AG.
- Aydin T, Bayrak N, Baran E, Cakir A. 2017. Insecticidal effects of extracts of *Humulus lupulus* (hops) L. cones and its principal component, xanthohumol. *Bulletin of entomological research* **107**:543–549. Cambridge University Press.
- Ban Z, Qin H, Mitchell AJ, Liu B, Zhang F, Weng JK, Dixon RA, Wang G. 2018. Noncatalytic chalcone isomerase-fold proteins in *Humulus lupulus* are auxiliary components in prenylated flavonoid biosynthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **115**:E5223–E5232. National Academy of Sciences.
- Basařová G, Šavel J, Basař P, Lejsek T. 2010. *Pivovarství: teorie a praxe výroby piva*. Vydavatelství VŠCHT Praha.
- Beard FH, Thompson FC. 1961. The testing and selection of Golding clones. Progress report 1.
- Beatson RA. 1993. Breeding and development of hop cultivars in New Zealand. *Proceedings of the Scientific Commission of the IHGC*:26–29.
- Bedini S, Flamini G, Cosci F, Ascricchi R, Benelli G, Conti B. 2016. *Cannabis sativa* and *Humulus lupulus* essential oils as novel control tools against the invasive mosquito *Aedes albopictus* and fresh water snail *Physella acuta*. *Industrial Crops and Products* **85**:318–323. Elsevier B.V.
- Bedini S, Flamini G, Girardi J, Cosci F, Conti B. 2015. Not just for beer: Evaluation of spent hops (*Humulus lupulus* L.) as a source of eco-friendly repellents for insect pests of stored foods. *Journal of pest science* **88**:583–592. Springer.
- Behre K-E. 1998. *Vegetation History and Archaeobotany The history of beer additives in Europe-a review*.
- Bhattacharya S, Virani S, Zavro M, Haas Bhattacharya GJ, Haas GJ. 2003. Inhibition of *Streptococcus mutans* and other oral *Streptococci* by hop (*Humulus lupulus* L.) constituents.

- Bland JS, Minich D, Lerman R, Darland G, Lamb J, Tripp M, Grayson N. 2015. Isohumulones from hops (*Humulus lupulus*) and their potential role in medical nutrition therapy. *PharmaNutrition* **3**:46–52. Elsevier.
- Bogdanova K, Röderova M, Kolar M, Langova K, Dusek M, Jost P, Kubelkova K, Bostik P, Olsovska J. 2018. Antibiofilm activity of bioactive hop compounds humulone, lupulone and xanthohumol toward susceptible and resistant staphylococci. *Research in Microbiology* **169**:127–134. Elsevier Masson SAS.
- Bolton JL, Dunlap TL, Hajirahimkhan A, Mbachu O, Chen SN, Chadwick L, Nikolic D, Van Breemen RB, Pauli GF, Dietz BM. 2019. The Multiple Biological Targets of Hops and Bioactive Compounds. *Chemical Research in Toxicology* **32**:222–233. American Chemical Society.
- Brooks SN, Horner CE. 1961. Hop Production. USDA Agric. Information Bulletin:20–22.
- Burgess AH. 1964. Hops: Botany, Cultivation, and Utilisation. Hops: Botany, Cultivation, and Utilisation. Leonard Hill (Grampian Press Ltd), London, and Interscience Publishers Inc
- Čepička J. 1993. a G. BASAŘOVÁ. Strategies of modern hop boiling. *Kvasny Prumysl [online]* **39**:66–69.
- Čermák P, Palečková V, Houška M, Strohalm J, Novotná P, Míkyška A, Jurková M, Sikorová M. 2015. Inhibitory effects of fresh hops on *Helicobacter pylori* strains. *Czech Journal of Food Sciences* **33**:302–307. Institute of Agricultural and Food Information.
- Chadwick LR, Pauli GF, Farnsworth NR. 2006. The pharmacognosy of *Humulus lupulus* L.(hops) with an emphasis on estrogenic properties. *Phytomedicine* **13**:119–131. Elsevier.
- Cortez D. 2017. Craft Beer and Marijuana Cohesiveness Is Possible: How One Can Learn from the Other's Regulatory Madness. *Ohio St. Bus. LJ* **12**:159. HeinOnline.
- Daněk J, Procházka S, Ferkl P. 1982. Technologie pro 4. ročník SPŠ potravinářské technologie, obor kvasná technologie: Učební text. SNTL.
- Darby P. 1994. Dwarfness and resistance to aphids: two novel traits in hop breeding. Page European Brewery Convention Monograph XXII, Symposium on Hops, Zoeterwoude, Netherlands.
- Darby P. 1998. A century of hop breeding. *Brewing Room Book* **2000**:57–61. Pauls Malt, Bury St. Edmunds, England.
- Darby P. 1999. Economic yield potential of dwarf hop varieties. Page New Procedures in Hop Growing, Proceedings of International Symposium.
- Darby P. 2001. Single gene traits in hop breeding. Pages 86–90 Scientific commission of the international hop growers convention IHGC. Canterbury, UK.
- Darby P. 2005. The history of hop breeding and development. *Brew Hist* **121**:94–112.
- Darby P. 2007. The UK hop breeding programme: A new site and new objectives. Pages 10–13 International Hop Growers' Convention, Scientific Commission, IHGC, Tettnang, Germany. Citeseer.
- Darby P, Farris MD. 1991. The development of dwarf hops. Annual Booklet of the Association of Growers of the New Varieties of Hops. Inprint, Tonbridge:39–42.
- Dark SOS. 1952. The use of polyploidy in hop breeding.
- David H. Gent. 2016. At a Glance.
- Davis DW, Oelke EA, Oplinger ES, Doll JD, Hanson C V, Putnam DH. 1991. Cowpea. *Alternative field crops manual* **390**:557–600. University of Wisconsin Cooperative or Extension Service Madison, WI, USA.
- Erkkola R, Vervarcke S, Vansteelandt S, Rompotti P, De Keukeleire D, Heyerick A. 2010. A randomized, double-blind, placebo-controlled, cross-over pilot study on the use of a

- standardized hop extract to alleviate menopausal discomforts. *Phytomedicine* **17**:389–396.
- Gerhäuser C. 2005. Beer constituents as potential cancer chemopreventive agents. *European Journal of Cancer* **41**:1941–1954. Elsevier Ltd.
- González-Salitre L, Guillermo González-Olivares L, Antobelli Basilio-Cortes U. 2023, March 30. *Humulus lupulus* L. a potential precursor to human health: High hops craft beer. Elsevier Ltd.
- Hamm AK, Manter DK, Kirkwood JS, Wolfe LM, Cox-York K, Weir TL. 2019. The effect of hops (*Humulus lupulus* L.) extract supplementation on weight gain, adiposity and intestinal function in ovariectomized mice. *Nutrients* **11**. MDPI AG.
- Henning JA, Gent DH, Townsend MS, Haunold A. 2018. Registration of High Alpha-Acid Male Hop Germplasm USDA 21267M. *Journal of Plant Registrations* **12**:382–385. Wiley Online Library.
- Keyworth WG. 1942. Verticillium wilt of the hop (*Humulus lupulus*).
- Kopp PA. 2014. The global hop: An agricultural overview of the brewer's gold. Pages 77–88 *The geography of beer: Regions, environment, and societies*. Springer.
- Kořen J. 2008a. Sušení chmele na pásových Sušárnách.
- Kořen J. 2008b. Sušení chmele na komorových Sušárnách.
- Korpelainen H, Pietiläinen M. 2021, December 1. Hop (*Humulus lupulus* L.): Traditional and Present Use, and Future Potential. Springer.
- Kosař K. 2000. Technologie výroby sladu a piva. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský.
- Lamy V, Roussi S, Chaabi M, Gossé F, Schall N, Lobstein A, Raul F. 2007. Chemopreventive effects of lupulone, a hop β -acid, on human colon cancer-derived metastatic SW620 cells and in a rat model of colon carcinogenesis. *Carcinogenesis* **28**:1575–1581.
- Lance EJ. 1838. *The Hop Farmer; Or, a Complete Account of Hop Culture, Etc.*[With Plates.]. J. Ridgway & Sons.
- Lee JC, Kundu JK, Hwang DM, Na HK, Surh YJ. 2007. Humulone inhibits phorbol ester-induced COX-2 expression in mouse skin by blocking activation of NF- κ B and AP-1: I κ B kinase and c-Jun-N-terminal kinase as respective potential upstream targets. *Carcinogenesis* **28**:1491–1498.
- Magalhães PJ, Carvalho DO, Cruz JM, Guido LF, Barros AA. 2009. Fundamentals and Health Benefits of Xanthohumol, a Natural Product Derived from Hops and Beer.
- Mahli A, Koch A, Fresse K, Schiergens T, Thasler WE, Schönberger C, Bergheim I, Bosserhoff A, Hellerbrand C. 2018. Iso-alpha acids from hops (*Humulus lupulus*) inhibit hepatic steatosis, inflammation, and fibrosis. *Laboratory Investigation* **98**:1614–1626. Nature Publishing Group.
- McGinnis L. 2008. Hops: New Markets, Better Storage. *Agricultural research* **56**:8. Superintendent of Documents.
- Mikyška A, Krofta K, Hašková D, Čulík Jiří, Čejka P. 2012. Vliv skladování chmelových pelet na kvalitu piva. *Kvasný Prům* **5**:148–154.
- Murakami A. 1999. Inheritance of major chemical components in hops. *Journal of the Institute of Brewing* **105**:107–111. Wiley Online Library.
- Neve RA. 1986. Hop breeding worldwide—Its aims and achievements. *Journal of the Institute of Brewing* **92**:21–24. Wiley Online Library.
- Neve RA. 1991a. Fungal diseases. *Hops*:137–173. Springer.
- Neve RA. 1991b. Varieties and breeding. *Hops*:195–223. Springer.
- Neve RA. 1991c. The cultivated hop. *Hops*:25–47. Springer.
- Neve RA. 2012. *Hops*. Springer Science & Business Media.

- Oosterveld A, Voragen AGJ, Schols HA. 2002. Characterization of hop pectins shows the presence of an arabinogalactan-protein. Available from www.elsevier.com/locate/carbpol.
- Percival J. 1901. The hop and its English varieties. *Jl R. agric. Soc* **62**:67–95.
- Pethybridge SJ, Hay FS, Barbara DJ, Eastwell KC, Wilson CR. 2008. Viruses and viroids infecting hop: Significance, epidemiology, and management. *Plant Disease* **92**:324–338. Am Phytopath Society.
- Philips N, Samuel P, Lozano T, Gvaladze A, Guzman B, Siomyk H, Haas G. 2017. Effects of *Humulus lupulus* extract or its Components on Viability, Lipid Peroxidation, and expression of Vascular Endothelial Growth Factor in Melanoma Cells and Fibroblasts. *Madridge Journal of Clinical Research* **1**:15–19. Madridge Publishers, LLC.
- Reher T, Van Kerckvoorde V, Verheyden L, Wenseleers T, Beliën T, Bylemans D, Martens JA. 2019. Evaluation of hop (*Humulus lupulus*) as a repellent for the management of *Drosophila suzukii*. *Crop Protection* **124**. Elsevier Ltd.
- Royle DJ, Krehmiller HT. 1981. Downy mildew of the hop. *The downy mildews*:395–419. Academic Press New York.
- Salmon ES. 1920. ON FORMS OF THE HOP (*HUMULUS LUPULUS* L. AND *H. AMERICANUS* NUTT.) RESISTANT TO MILDEW (*APHAEROTHECA HUMULI* (DC.) BURR.). IV. *Annals of Applied Biology* **6**:293–310. Wiley Online Library.
- Sanz V, Torres MD, Vilariño JML, Domínguez H. 2019. What is new on the hop extraction? *Trends in Food Science & Technology* **93**:12–22. Elsevier.
- Scot R. 1576. *perfite platforme of a hoppe garden*.
- Şener B. 2020, September 1. Antiviral activity of natural products and herbal extracts. Gazi Universitesi.
- Sirrine JR, Rothwell NL, Goldy RG, Marquie S, Brown-Rytlewski D. 2010. Sustainable hop production in the Great Lakes region. Michigan State University Extension Publisher.
- Srinivasan V, Goldberg D, HAAS Srinivasan GJ, Haas GJ. 2004. Hop CONSTITUENTS 1.
- Stavri M, Schneider R, O'Donnell G, Lechner D, Bucar F, Gibbons S. 2004. The antimycobacterial components of hops (*Humulus lupulus*) and their dereplication. *Phytotherapy Research* **18**:774–776.
- Teghtmeyer S. 2018. Hops. *Journal of Agricultural and Food Information* **19**:9–20. Taylor and Francis Inc.
- Tomlan MA. 2013. *Tinged with gold: hop culture in the United States*. University of Georgia Press.
- Tronina T, Popłonski J, Bartmanska A. 2020, September 1. Flavonoids as Phytoestrogenic Components of Hops and Beer. MDPI AG.
- Verzele M, De Keukeleire D. 2013. Chemistry and analysis of hop and beer bitter acids. Elsevier.
- Weber N, Biehler K, Schwabe K, Haarhaus B, Quirin KW, Frank U, Schempp CM, Wölfl U. 2019. Hop extract acts as an antioxidant with antimicrobial effects against *Propionibacterium acnes* and *Staphylococcus aureus*. *Molecules* **24**. MDPI AG.
- Wendakoon C, Gagnon D, Koenig M, Dwarakanath S. 2018. Hops (*Humulus lupulus* L.) Strobile Extract and Its Major Components Show Strong Antibacterial Activity against Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*.
- Wilson DG. 1975. Plant remains from the Graveney boat and the early history of *Humulus lupulus* L. in W. Europe. *New Phytologist* **75**:627–648. Wiley Online Library.
- Xin G et al. 2017. Xanthohumol isolated from *Humulus lupulus* prevents thrombosis without increased bleeding risk by inhibiting platelet activation and mtDNA release. *Free Radical Biology and Medicine* **108**:247–257. Elsevier Inc.

- Yamaguchi N, Satoh-Yamaguchi K, Ono M. 2009. In vitro evaluation of antibacterial, anticollagenase, and antioxidant activities of hop components (*Humulus lupulus*) addressing acne vulgaris. *Phytomedicine* **16**:369–376.
- Yan DD, Wong YF, Shellie RA, Marriott PJ, Whittock SP, Koutoulis A. 2019. Assessment of the phytochemical profiles of novel hop (*Humulus lupulus* L.) cultivars: A potential route to beer crafting. *Food Chemistry* **275**:15–23. Elsevier Ltd.
- Zanoli P, Zavatti M. 2008, March 28. Pharmacognostic and pharmacological profile of *Humulus lupulus* L. Elsevier Ireland Ltd.